



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV KONSTRUOVÁNÍ

INSTITUTE OF MACHINE AND INDUSTRIAL DESIGN

**KONSTRUKCE ZKUŠEBNÍ STANICE PRO DIAGNOSTIKU
POŠKOZENÍ A ÚNIKŮ MÉDIÍ Z PNEUMATICKÝCH
SYSTÉMŮ**

CONSTRUCTION OF THE STATION FOR THE DIAGNOSIS OF DAMAGE AND LEAKS FROM PNEUMATIC
SYSTEMS

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Denis Kojš

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Pavel Mazal, CSc.

BRNO 2017

Zadání diplomové práce

Ústav: Ústav konstruování
Student: **Bc. Denis Kojš**
Studijní program: Strojní inženýrství
Studijní obor: Konstrukční inženýrství
Vedoucí práce: **doc. Ing. Pavel Mazal, CSc.**
Akademický rok: 2016/17

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Konstrukce zkušební stanice pro diagnostiku poškození a úniků médií z pneumatických systémů

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Pneumatické válce jsou určeny pro dlouhodobé využití v řadě technických aplikací. Jejich spolehlivost je nezbytná pro správnou funkci celého zařízení. Vlivem velkého počtu funkčních cyklů však dochází k opotřebení funkčních ploch, těsnicích prvků apod., což má za následek zhoršení vlastností válce. Pro dlouhodobé zkoušky válců je nezbytné zkonstruovat, realizovat a ověřit funkci stolní zkušební stanice, která umožní laboratorní zkoušení pneumatických systémů s pohyblivými částmi s cílem detekce vzniku poškození, případně úniků médií.

Typ práce: výzkumná

Projekt: MPO

Cíle diplomové práce:

Hlavním cílem je konstrukce a realizace funkčního vzorku stolní zkušební stanice, umožňující dlouhodobé zkoušky pneumatických systémů a v rámci ověření funkce, provést praktickou identifikaci poškození, příp. úniku média.

Dílčí cíle diplomové práce:

- návrh konstrukce zkušební stanice a její realizace,
- ověření funkce stanice a návrh zkušebního postupu,
- vyhodnocení souboru experimentálních dat s příkladem identifikace poškození.

Požadované výstupy: funkční vzorek, průvodní zpráva, výkres sestavení, laboratorní protokol.

Rozsah práce: cca 72 000 znaků (40 - 50 stran textu bez obrázků).

Struktura práce a šablona průvodní zprávy jsou závazné:

http://dokumenty.uk.fme.vutbr.cz/BP_DP/Zasady_VSKP_2017.pdf

Seznam literatury:

SHIGLEY, Joseph E., MISCHKE, Charles R., BUDYNAS, Richard G.: Konstruování strojních součástí. Translation Hartl, M. a kol., překlad 7. vydání, VUTIUM, Brno, 2010, 1160 s., ISBN 978-80-214-2-29-0.

KREIDL, Marcel, ŠMÍD, Radislav: Technická diagnostika - senzory, metody, analýza signálu. BEN-Technická literatura, Praha, 2006, 410 s., ISBN 80-7300-158-6.

SHULL, Peter J.: Nondestructive Evaluation - Theory, Techniques, and Applications. Marcel Dekker, New York, 2002, 844 s., ISBN 0-8247-8872-9.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2016/17

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Martin Hartl, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Diplomová práca sa zaoberá konštrukčným návrhom, realizáciou a overením funkčnosti skúšobnej stanice určenej pre meranie akustických emisií na pneumatických valcoch za účelom diagnostiky porúch. Prvá časť diplomovej práce obsahuje prehľad doterajších prác zaoberajúcich sa diagnostikou pneumatických systémov, tiež prác zaoberajúcich sa diagnostikou rozličných strojných súčastí pomocou akustickej emisie. Ďalej práca obsahuje popis navrhnutých koncepčných návrhov, pričom je detailne popísaný hlavne výsledný návrh, vrátane komplikácií ktoré sa pri testovaní vyskytli, a ich riešenie. Posledná časť práce popisuje výsledky meraní akustických emisií z poškodených a nepoškodených pneumatických valcov. Porovnaním frekvenčných spektier a obálok nameraných signálov akustickej emisie je overená funkčnosť stanice.

KLÍČOVÁ SLOVA

akustická emise, diagnostika, pneumatický valec, poškození, zkušební stanice

ABSTRACT

Thesis deals with the design, implementation and verification of functionality of station designed for measuring of acoustic emissions from pneumatic cylinders for the purpose of fault diagnosis. The first part of this thesis includes an overview of previous work dealing with the diagnosis of pneumatic systems, also works dealing with the diagnosis of various machine parts using acoustic emission. Further work contains a description of the proposed conceptual design and final draft is described in detail, including occurred complications and their solutions. The last part describes the results of measurements of acoustic emissions from damaged and undamaged cylinders. Functionality of the station is verified by comparing the frequency spectra and envelopes of measured acoustic emission signal.

KEYWORDS

acoustic emission, diagnostics, pneumatic cylinder, damage, test station

BIBLIOGRAFICKÁ CITÁCIA

KOJŠ, D. *Konstrukce zkušební stanice pro diagnostiku poškození a úniků médií z pneumatických systémů*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2017. 67 s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Pavel Mazal, CSc..

POĎAKOVANIE

Týmto chcem poďakovať vedúcemu práce, ktorým je doc. Ing. Pavel Mazal, CSc., za konzultácie, rady a pripomienky k práci.

Ďakujem tiež rodičom za podporu počas celej doby štúdia.

PREHLÁSENIE AUTORA O PÔVODNOSTI PRÁCE

Prehlasujem, že diplomovú prácu *Konstrukce zkušební stanice pro diagnostiku poškození a úniků médií z pneumatických systémů* som vypracoval samostatne pod vedením doc. Ing. Pavla Mazala, CSc. a všetky použité literárne zdroje sú uvedené v zozname na konci práce.

V Brně, 19. 5. 2017

.....
podpis autora

OBSAH

1 Úvod	1
2 Zhrnutie súčasného stavu poznania	2
2.1 Pneumatické valce	2
2.1.1 Rozdelenie pneumatických pohonov	2
2.1.2 Súčasti pneumatických valcov	2
2.1.3 Vady pneumatických valcov	3
2.2 Metódy bezdemontážnej diagnostiky porúch	7
2.2.1 Použitie metódy akustickej emisie	8
2.2.2 Spracovanie signálu AE	13
2.2.3 Snímače AE	13
2.3 Upínače pneumatických valcov	14
3 Analýza problému a cieľ práce	16
3.1 Analýza problému	16
3.2 Ciele práce	16
4 Koncepčné riešenia	18
4.1 Vstupy a požiadavky	18
4.2 Upínanie pneumatických valcov	18
4.3 Snímače koncovej polohy	20
4.4 Zaťaženie	20
4.5 Spojenie piestu testovaného valca s piestom zaťažovacieho valca	21
4.6 Pripojenie snímačov AE	22
5 Výsledné riešenie	24
5.1 Konštrukčná časť	24
5.1.1 Základová doska a podstavec	24
5.1.2 Popis testovaných valcov	25
5.1.3 Upnutie testovaných valcov	26
5.1.4 Zaťažovanie	27
5.1.5 Spojenie piestov	27
5.1.6 Snímače a elektronika	28
5.1.7 Upínanie snímačov AE	30
5.1.8 Popis meracieho reťazca	32
5.2 Merania AE	35
5.2.1 Test držiaka snímačov	36
5.2.2 Dlhodobá skúška	38
5.2.3 Štatistické spracovanie signálov z nepoškodených valcov radu PB	39
5.2.4 Porovnanie poškodených a nepoškodených valcov bez zaťaženia	39
5.2.5 Vplyv zaťaženia na signál AE	48
6 Diskusia	57
6.1 Zhrnutie dosiahnutých výsledkov	57
6.2 Ekonomický rozbor	57
6.3 Možnosti ďalších prác	57
6.3.1 Rozšírenie o ďalšie funkcie	57
6.3.2 Ďalšie typy pneumatických valcov	58
6.3.3 Dlhodobá skúška	58
6.3.4 Ďalšie poruchy pneumatických valcov	58

7 Záver	59
8 Bibliografia	61
9 Zoznam použitých značiek	63
10 Zoznam tabuliek	64
11 Zoznam obrázkov	65
12 Zoznam príloh	67

1 ÚVOD

1

Pneumatické systémy sú súčasťou mnohých zariadení. Funkčnosť a spoľahlivosť pneumatických systémov má výrazný vplyv na výrobné linky a dopravnú techniku. V súčasnosti sa poruchy pneumatických systémov riešia pravidelnými kontrolami a výmenami pri odstávkach, čo zapríčiňuje značné finančné straty. Online diagnostikou pneumatických systémov je možné predísť poruchám systémov a tým ušetriť náklady. Odstávky nebudú plánované na základe odhadov, ale podľa skutočného stavu pneumatických valcov, čo zvýši efektivitu výroby.

Jednou z perspektívnych možností je diagnostika pomocou akustickej emisie, preto sa vhodnosť tejto metódy bližšie skúma. Aby bolo možné merať akustické emisie na pneumatických valcoch, je potrebné skonštruovať stolnú skúšobnú stanicu, schopnú upnúť rôzne typy valcov a umožňujúcu upnutie snímačov AE. Stanica musí umožňovať zaťaženie silou na piest proti smeru pohybu. Je potrebné zabezpečiť, aby testované pneumatické valce boli schopné pracovať dlhodobo, aby bolo možné skúmanie vzniku prirodzených defektov a opotrebenia pneumatických valcov. Ďalšie požiadavky sú nízke výrobné náklady, dostatočná tuhosť, dobrá opakovateľnosť výsledkov meraní.

Toto zariadenie umožní získanie dát pre vypracovanie metódy, ktorá umožní diagnostiku pneumatických valcov v praxi, čím sa predíde poruchám. Bude súčasťou vybavenia laboratória AE na ÚK.

2 ZHRNUTIE SÚČASNÉHO STAVU POZNANIA

2.1 Pneumatické valce

Pracovný cyklus pneumatických valcov znamená - prestavenie ventilu - vysunutie valca - prestavenie ventilu - zasunutie valca. Rýchlosť pohybu je závislá od pracovného zdvihu. Ten je daný konštrukciou, obvykle od 1 mm do 3 m. Rýchlosť sa obvykle reguluje škrtiacimi ventilmi na pripojení vzduchu. Mnohé pneumatické valce sú konštruované tak, aby dochádzalo k tlmeniu rýchlosti piestu v koncových polohách. Tesne pred dosiahnutím koncovej polohy je priškrtený odvod vzduchu, čím prudko vzrastie tlak vzduchu na plochu piestu proti smeru pohybu. Pneumatické tesnenia sú konštruované na rýchlosť do 1 m/s – býva často prekračovaná, čím sa zvyšuje opotrebenie. Pneumatické valce často pracujú v prostredí, ktoré znižuje ich životnosť. Obvykle sú umiestňované tak, aby boli prístupné údržbe, teda aj diagnostike. (1)

2.1.1 Rozdelenie pneumatických pohonov

Pneumatické pohony sa rozdeľujú na priamočiare valce, rotačné valce, mechy, fluidné svaly.

Najčastejšie sú priamočiare valce, tie sa rozdeľujú podľa konštrukcie na valce s piestnicou a bezpiestnicové valce. V drvivej väčšine sú zastúpené valce s piestnicou, podľa funkcie sa delia na jednočinné a dvojčinné.

Základné varianty:

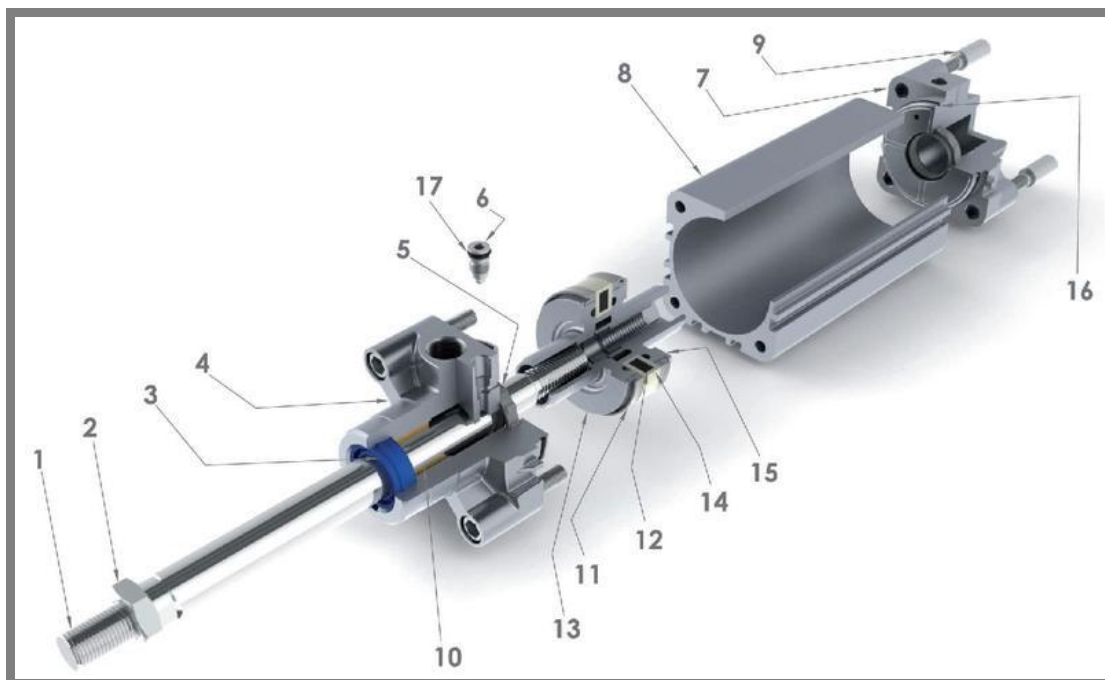
- vrátené pružinou/vonkajšou silou,
- bez tlmenia/s tlmením,
- jednostrannou/priechodskou piestnicou. (1)

Rozmery:

Rozmery sú štandardizované normou ISO pre rady s priemerom piestu 8, 10, 12, 16, 20, 25, 32, 40, 50, 63, 80, 100, 125, 160, 200, 250, 320 mm (1)

2.1.2 Súčasti pneumatických valcov

Štandardný pneumatický valec sa skladá z nasledujúcich častí (obr. 2.1):



Obr. 2.1 Súčasti pneumatického valca (2)

- | | |
|----------------------|-------------------------|
| 1 piestnica | 2 matica |
| 3 tesnenie piestnice | 4 predné veko |
| 5 manžeta tlmenia | 6 skrutka tlmenia |
| 7 zadné veko | 8 teleso valce – trubka |
| 9 spojovacia skrutka | 10 vedenie piestnice |
| 11 tesnenie piestu | 12 magnet |
| 13 predný piest | 14 púzdro magnetu |
| 15 zadný piest | 16 O-krúžok |
| 17 O-krúžok | |
| (2) | |

2.1.3 Vady pneumatických valcov

Zadierane

K zadieraniu piestu dochádza pri nedostatočnom mazaní trecích plôch. Prejavuje sa výrazným zvýšením trenia a teploty a rýchlim opotrebením trecích plôch, čo výrazne znižuje životnosť pneumatických valcov. (2)

Stick-slip

Prejavuje sa trhavým pohybom piestu, pričom vznikajú vibrácie a hlukové emisie. Príčinou môže byť nedostatočné mazanie trecích plôch, nadmerné radiálne zaťaženie piestnice, opotrebenie styčných plôch. (2)

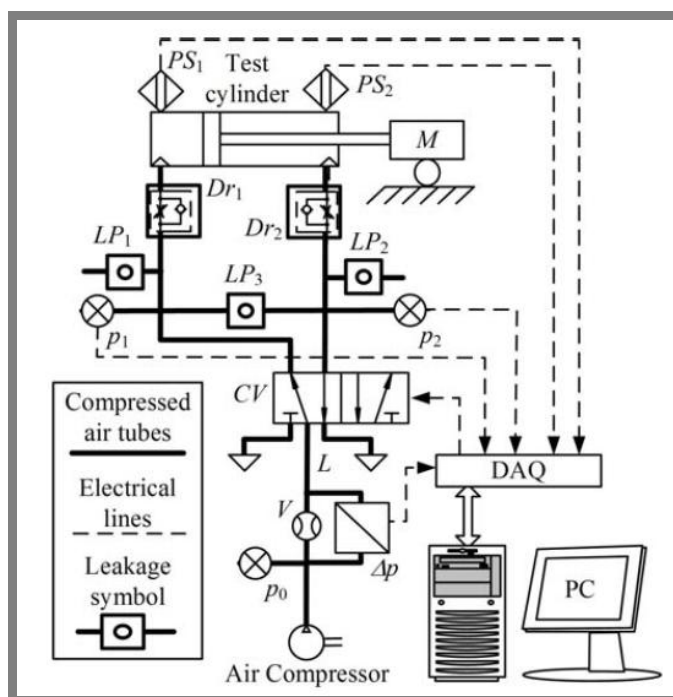
Úniky vzduchu

Úniky vzduchu sú následkom netesností medzi komponentmi pneumatika. Jedná sa o najčastejšiu vadu, ktorá je zároveň často prehliadaná pri bežnej kontrole pneumatických systémov, preto sa jej venuje zvýšená pozornosť.

Netesnosť je väčšinou spôsobená poškodením tesniacej plochy na súčasti, alebo poškodením tesnenia. Netesnosti spôsobené výrobnou vadou súčastí, prípadne

chybnou montážou sa vyskytujú len ojedinele. Oblasti, v ktorých dochádza k netesnostiam, sa nachádzajú medzi predným vekom a piestnicou, medzi predným vekom a stredovou trubicou, medzi zadným vekom a stredovou trubicou, medzi piestom a stredovou trubicou, okolo škrtiacej ihly, medzi vekom a skrutkovým spojom. Netesnosť manžety tlmenia sa prejavuje len za pohybu piestu tým, že dochádza k rázom. Prejavom netesností je hlavne zvýšená spotreba tlakového vzduchu a znížená účinnosť pneumotorov. Chod kompresorov je nákladný, a preto je snaha o odhalenie každého úniku vzduchu. (2)

Únikom média sa zaoberali aj Ž. Nakutis a P. Kaškonas (3) s cieľom odhadnúť polohu a veľkosť úniku zo systému s pneumatickým valcom, s použitím snímania prietoku, tlaku a polohy piestu. Pre testovanie bola použitá zostava podľa schémy na obr.2.2.



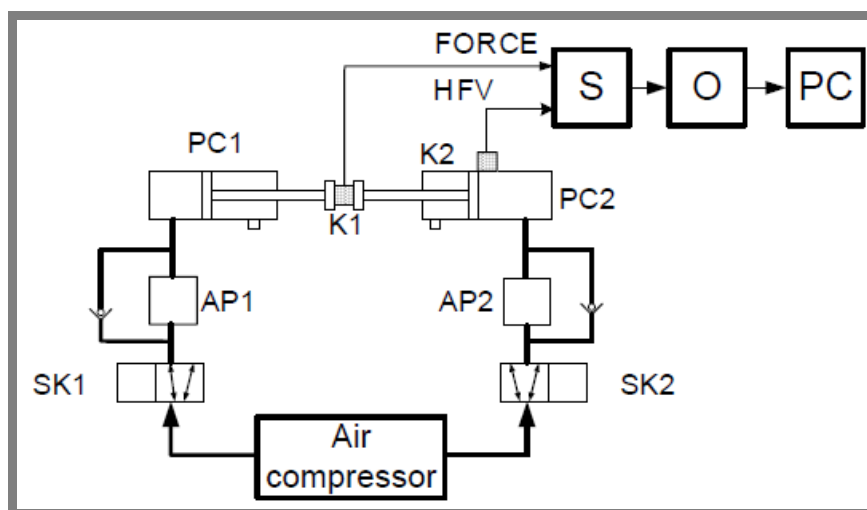
Obr. 2.2 Zostava použitá pre testovanie (3)

Hlavné prvky testovacej zostavy boli škrtiace klapky (Dr1 a Dr2), ventil (CV), kompresor, pneumatický valec so závažím na piestnici. V schéme sú tiež naznačené oblasti únikov (LP1 LP2 a LP3). Bol testovaný aj únik medzi komorami pneumatického valca. Sledovaná bola najmä zmena tlaku a prietoku vzduchu v čase pri rozličných podmienkach. Testy boli robené pre zaťaženie 10 až 50 N, vstupný tlak 0,3 MPa, 0,35 MPa a 0,4 MPa. Namerané výsledky boli porovnávané s referenčnými meraniami bez únikov.

Z meraní vyplynulo, že pomocou merania spotreby vzduchu počas polcyklu pohybu valca a pomocou merania veľkosti prietoku vzduchu v momente zastavenia piestu je možné detekovať úniky vzduchu zo systému. Zistenie úniku cez otvor s priemerom do 3 mm bolo problematické, pri úniku cez otvor 5 mm a viac bola metóda spoľahlivá. (3)

Metóda diagnostiky pneumatických systémov na základe merania tlaku a prietoku vzduchu nebola dostatočne presná a efektívna, preto vznikla práca (4), ktorej cieľom bola diagnostika pneumatických valcov pomocou vysokofrekvenčných vibrácií. Na merania boli použité 2 pneumatické valce Festo typu DNN-63-80-PPV-A, pričom jeden bol nový, druhý opotrebovaný mal netesnosť medzi piestom a telesom valca. Valce boli vystavené rovnakým podmienkam.

Schéma testovacej zostavy je na obr. 2.3.



Obr. 2.3 Schéma testovania pneumatických valcov (4)

PC1 – zaťažovací protivalec

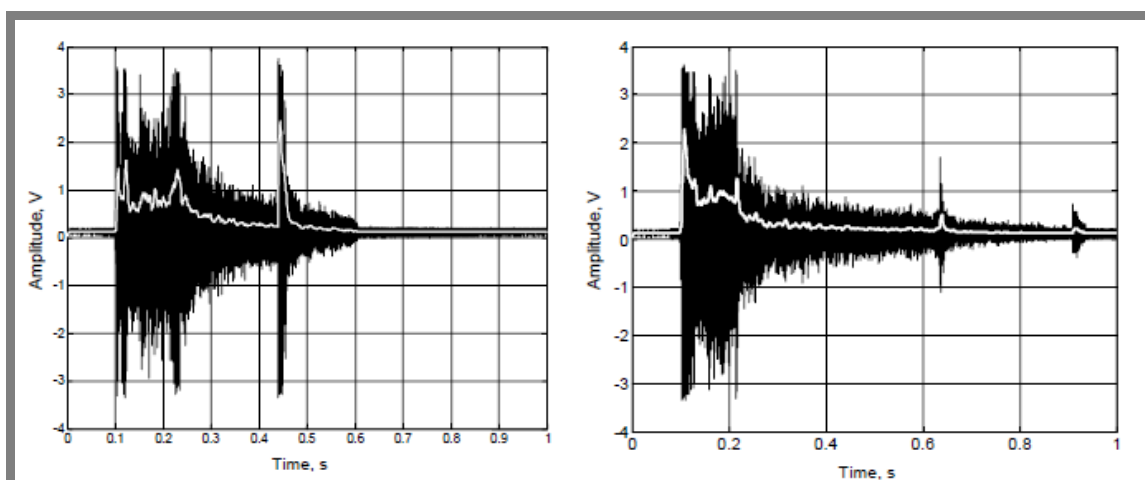
K1 – tenzometer

SK1 a SK2 – ventily

PC2 – testovaný pneumatický valec

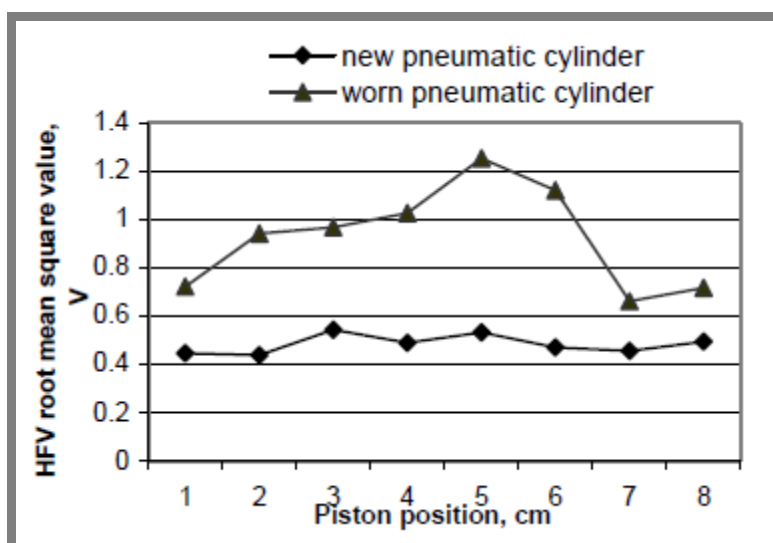
K2 – snímač vibrácií

Jeden snímač vibrácií bol umiestnený na telese valca, druhý vo vnútri. Rozsah snímačov bol 30 kHz - 200 kHz. Pracovný tlak 600 kPa. Bola zaznamenávaná aj sila vyvozená na piest pomocou zaťažovacieho pneumatického valca. Hlavné sledované parametre boli hodnoty RMS signálu vibrácií, obálka hodnôt RMS signálu vibrácií a spektrálna hustota výkonu signálu vibrácií (PSD - power spectrum density). Výsledné hodnoty boli vynesené do grafov na obr. 2.4 – 2.6.

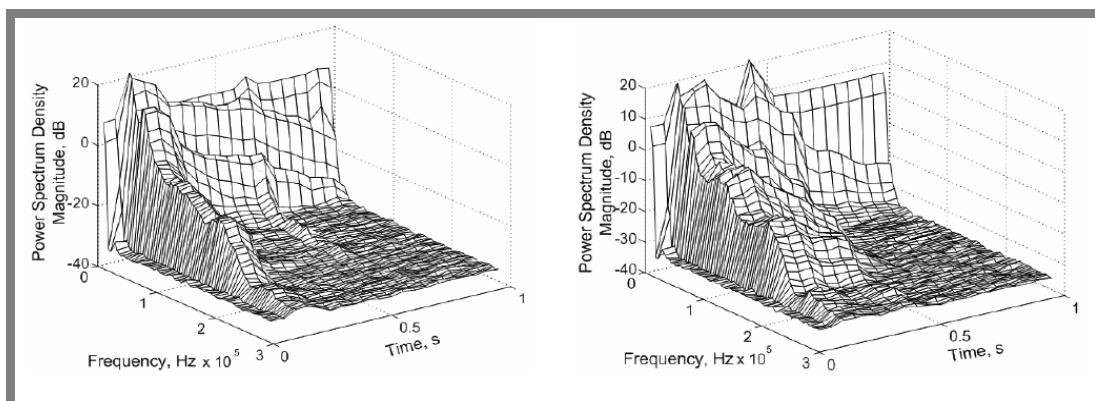


Obr. 2.4 Porovnanie signálu vibrácií z nepoškodeného (vľavo) a poškodeného (vpravo) valca. (4)

Biela krivka na obr. 2.4 je obálka hodnôt RMS (root mean square – kvadratický priemer) signálu vibrácií. Perióda pohybu poškodeného valca bola výrazne dlhšia vplyvom únikov vzduchu.



Obr. 2.5 Hodnota RMS signálu vibrácií pri rôznej polohe piestu. (4)



Obr. 2.6 Porovnanie spektrálnej hustoty výkonu signálu vibrácií nepoškodeného (vľavo) a poškodeného (vpravo) pneumatického valca (4)

Zdrojom vibrácií bolo hlavne trenie medzi piestom a telesom valca a tiež prúdenie vzduchu. Bolo zistené, že intenzita vibrácií je priamo úmerná rýchlosti piestu a trecej sile. Hodnoty RMS signálu vibrácií, obálka hodnôt RMS signálu vibrácií a spektrálna hustota výkonu sa osvedčili ako vhodné parametre pre diagnostiku pneumatických valcov. Zistené výsledky však neboli overené testovaním iných pneumatických valcov. (4)

Na testovaní pneumatických valcov sa podieľal aj Ústav konstruování, konkrétne Ing. Jakub Roupec, Ing. Jiří Dvořáček, Ing. Libor Nohál (2012). Bola vypracovaná technická správa (5) zaoberajúca sa overením hodnôt trecích síl v pneumatických valcoch. Bol testovaný jeden typ valca so zdvihom 50 mm. Celkovo bolo testovaných viacero variant mazania.

Variant 1 – nový piest a nové mazivo ADDINOL,

Varianty 1a, 1b, 1c – mazivo RENOLIT HLT2 – namazané len niektoré styčné plochy

Variant 2 – nedostatok maziva

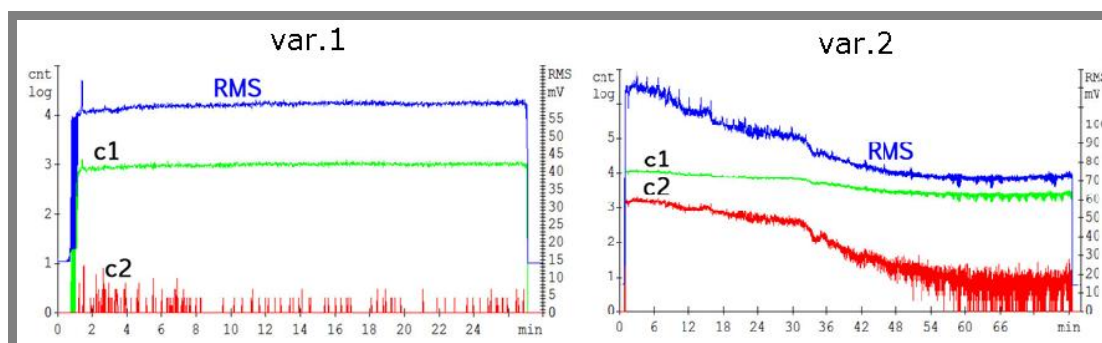
Variant 3 – mazivo Microlube

Variant 4 – opotrebovaný piest s mazivom ADDINOL

Merania boli dlhodobé, po 20 000 cyklov, pričom každých 2000 cyklov boli kontrolné body, v ktorých boli zmerané závislosti sily voči rýchlosti piestu – F-v charakteristika, a závislosti sily voči polohe piestu – F-z charakteristika.

Vyhodnocované boli aj vibrácie, akustické emisie a teplota.

Z parametrov akustickej emisie bol vyhodnocovaný počet prekmitov, efektívna hodnota signálu AE a tiež frekvenčné spektrum signálu AE zo série skúšok. Na obr. 2.7 je porovnanie výsledkov meraní AE z varianty 1 (nový piest a mazivo) a varianty 2 (nedostatok maziva). C1 a C2 sú hodnoty počtu prekmitov signálu AE nad prahovou hodnotou.

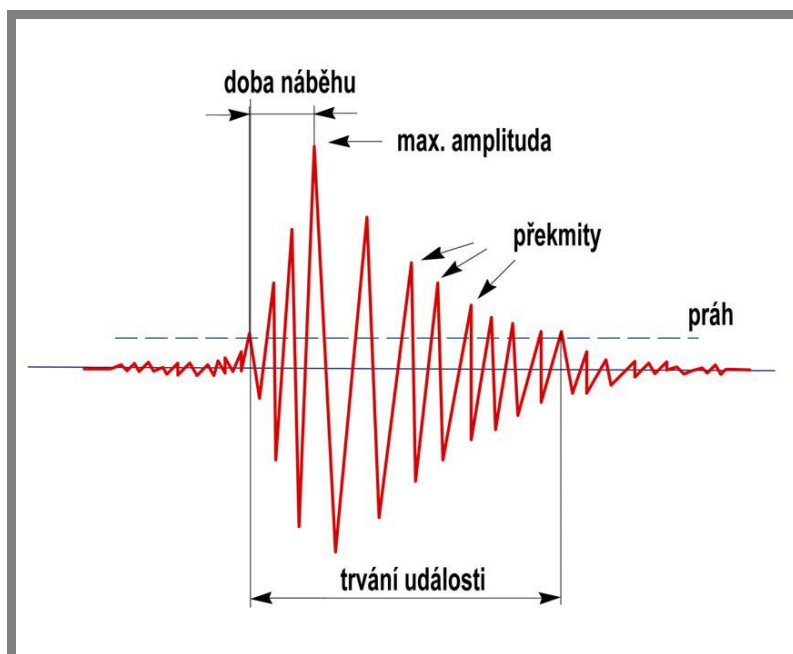


Obr. 2.7 Porovnanie počtu prekmitov a RMS signálu AE variant 1 a 2 (nedostatok maziva) (5)

Pri nedostatku maziva (variant 2) stačilo pár stoviek cyklov, aby sa u piestu prejavil rast trenia hlukovou emisiou, vibráciami a zvýšením síl. Toto drhnutie piestu bolo detekované aj v signáli AE. Merania akustickej emisie mali celkovo dobrú koreláciu s ostatnými metódami diagnostiky. Pri použitých mazivách boli zistené podobné hodnoty trenia. Bolo tiež dokázané, že základné vlastnosti pneumatického valca je možné zisťovať aj bez vplyvu tlaku. (5)

2.2 Metódy bezdemontážnej diagnostiky porúch

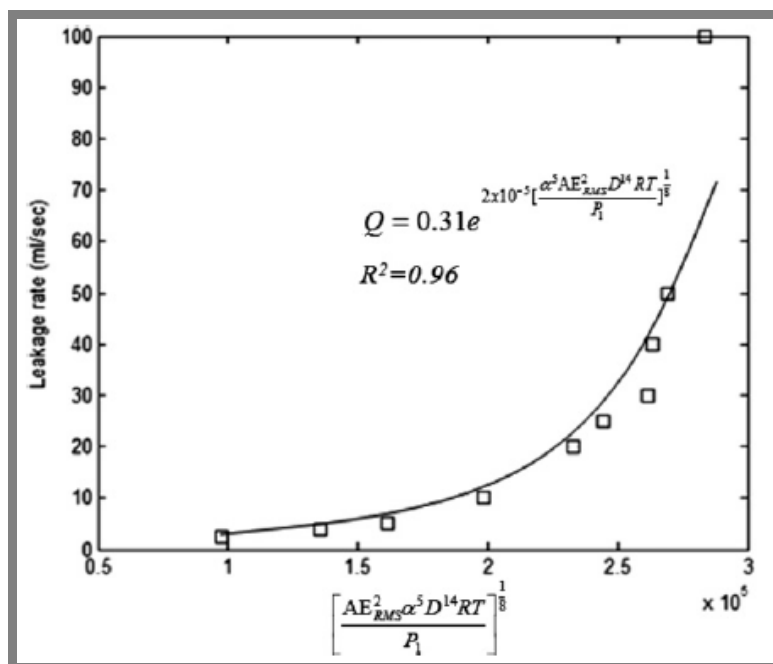
Najčastejšie používané metódy bezdemontážnej diagnostiky sú diagnostika vibrácií, teploty, zvuku a akustických emisií. Vibračná diagnostika sa osvedčila pri diagnostike ložísk. Je však považovaná za nedostatočne citlivú na malé poruchy. Meranie teploty sa používa na diagnostiku trenia. Umožňuje detekciu poškodenia v neskoršej fáze. Diagnostika zvuku je bezkontaktná metóda, používa sa pri diagnostike poškodenia styčných plôch súčastí stroja. Na rozpoznanie porúch v počiatočnom štádiu je neefektívna. (6) Ďalšou metódou bezdemontážnej diagnostiky je metóda akustickej emisie, ktorá bola úspešne použitá v oblasti diagnostiky strojných súčastí. Metóda akustickej emisie je založená na princípe snímania vln sféricky sa šíriacich v materiáli. Tie môžu byť vyvolané zmenou štruktúry materiálu spôsobenou zaťažením, prípadne pôsobením vonkajších činiteľov. Vlny AE majú frekvenciu až do 3 MHz. Signál je generovaný už pri nepatrných zmenách v materiáli, z čoho vyplýva vysoká citlivosť metódy. (7) Na obr. 2.8 je popis základných parametrov signálu AE.



Obr. 2.8 Parametre AE (8)

2.2.1 Použitie metódy akustickej emisie

Niekoľko publikácií sa zaoberá vhodnosťou AE na diagnostiku pneumatických systémov. V jednej z nich (9) Prateepasen popisuje metódu na meranie miery úniku plynu cez guľové ventily pomocou metódy akustickej emisie. Cieľom práce bolo zostrojiť prenosný prístroj použiteľný na detekciu netesností a opotrebenia ventilov v priemysle. Na základe rešerše zvolil ako hlavný sledovaný parameter RMS (root mean square) signálu AE, čo je stredná kvadratická úroveň signálu akustickej emisie. Vychádza z predpokladu, že hodnota RMS signálu AE sa vzťahuje k stavovým veličinám plynu ako sú tlak, teplota, hustota, rýchlosť zvuku. Ostatné parametre AE neboli vyhodnocované pre zjednodušenie a zrýchlenie spracovania dát. Na merania boli použité ventily priemerov 25,4 mm a 50,8 mm, pri tlaku 100 kPa, 300 kPa a 500 kPa. Bol zisťovaný aj vplyv teploty a typu plynu. Výsledky meraní boli pomocou numerických metód použité na vytvorenie vzorca popisujúceho mieru úniku v závislosti od parametrov pneumatického systému a parametrov signálu AE. Bolo zistené, že úniky plynu sa prejavujú spojitými akustickými vlnami o vysokej frekvencii, obvykle od 100 kHz do 1 MHz. Najväčší vplyv na mieru úniku má veľkosť ventilu. Vplyv teploty, použitého plynu a pracovného tlaku bol rádovo nižší. Získané dáta boli použité pre zostavenie rovnice, pomocou ktorej sa dá z nameranej hodnoty RMS signálu AE na ventile vypočítať miera úniku plynu zo systému s presnosťou do 7,8%. Porovnanie ďalších nameraných dát s hodnotami získanými výpočtom je na obr. 2.9. (9)

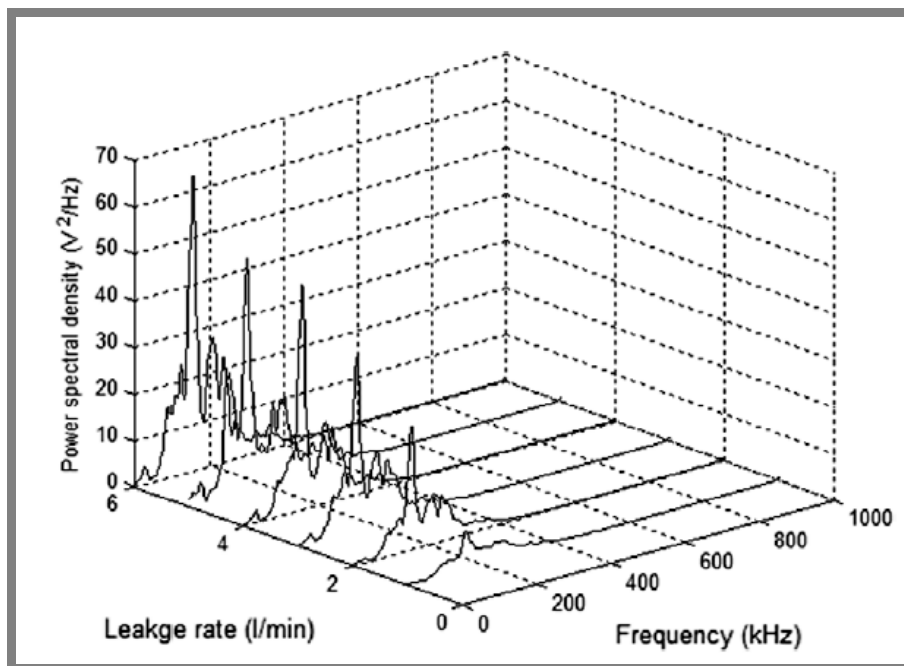


Obr. 2.9 Porovnanie vypočítaných a nameraných hodnôt úniku (8)

V podobnej štúdií (10) sa Kaewwaewnoi zaoberá detekciou únikov kvapalín a plynov cez guľový a sedlový ventil pomocou akustickej emisie. Na experimenty boli použité ventily s priemerom 25,4, 50,8 a 76,2 mm. Rozsah v ktorom boli zisťované frekvencie bol 0 až 1 MHz. Testovací tlak bol 100 až 700 kPa. Zisťovaný bol aj vplyv veľkosti ventilu, vstupného tlaku a prietoku na energiu signálu AE.

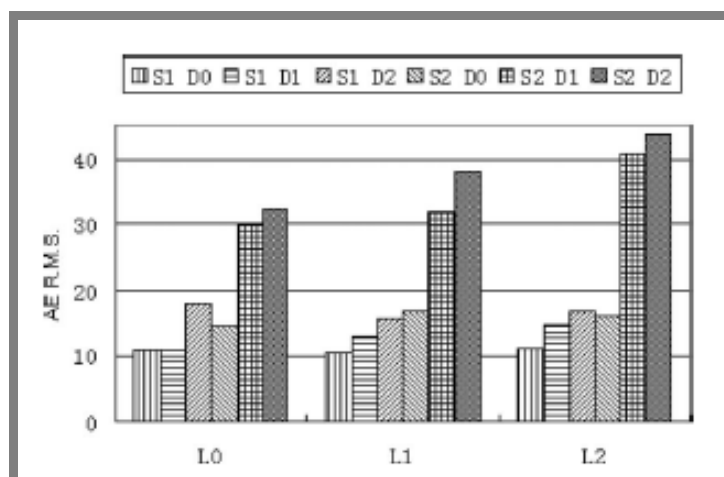
Meraniami bolo overené, že parameter RMS signálu AE v časovej oblasti má dobrú koreláciu s parametrom PSD signálu AE (power spectral density) vo frekvenčnej oblasti. Oba parametre sa používajú na vyjadrenie energie signálu AE. PSD je spektrálna hustota výkonu, ktorá predstavuje rozloženie intenzity signálu na jednotlivých frekvenciách AE.

Na obr. 2.10 sú grafy priebehov PSD signálu AE z úniku vzduchu cez guľový ventil s priemerom 25,4 mm, pri tlaku 300 kPa, pre prietoky 1 až 6 l/min. Únik sa najviac prejavoval špičkou signálu na frekvencii 150 kHz. Porovnaním signálov z rôznych ventilov bolo potvrdené, že energia signálu stúpa s klesajúcim priemerom ventilu. Hodnota RMS signálu AE rastie so stúpajúcim vstupným tlakom a stúpajúcim prietokom, pričom vstupný tlak mal výraznejší vplyv. (10)



Obr. 2.10 Graf vplyvu miery úniku a frekvencie na parameter PSD signálu AE (10)

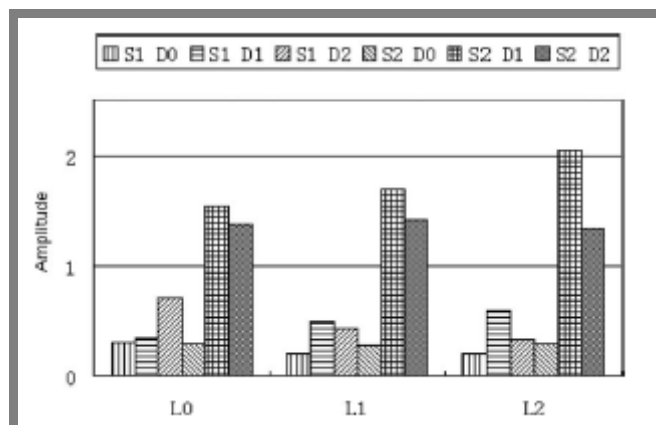
AE sa uplatňuje aj na detekciu porúch iných strojných súčastí. Napríklad Zhang vo svojej štúdii (11) overuje vzťah medzi rôznymi parametrami AE a prevádzkovým stavom valivých ložísk. Na testy boli použité ložiská s úmyselným poškodením na vonkajšom krúžku. Poškodenie malo priemer 3 mm (D1), 5 mm (D2). Bolo testované aj ložisko bez poruchy (D0). Zaťaženie ložísk bolo 0 kN (L0), 3 kN (L1) a 7 kN (L3), pri otáčkach 222 (S1) a 444 ot/min (S2). Sledovanými parametrami signálu boli amplitúda, RMS a počet špičiek signálu. Na spracovanie signálu bola použitá autokorelačná funkcia. Výstupom z meraní bol signál v časovej oblasti. Po spracovaní nameraných signálov boli výsledky vynesené do grafov. Bol porovnaný vplyv poškodenia, rýchlosti otáčania a zaťaženia na jednotlivé parametre signálu AE.



Obr. 2.11 Porovnanie hodnoty RMS signálu AE pre rôzne podmienky (11)

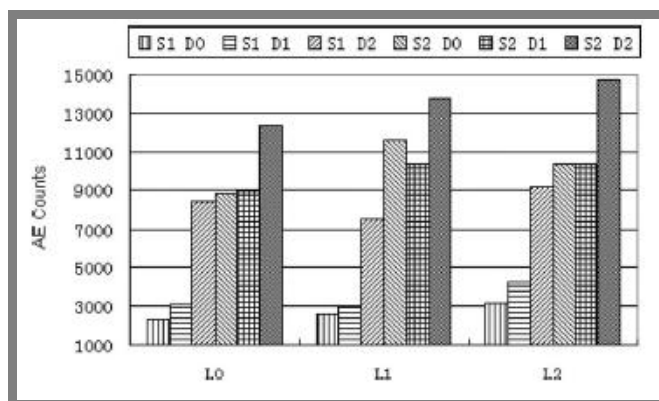
Na obr. 2.11 sú porovnané hodnoty RMS signálu AE pre rôzne podmienky testovania, pričom výsledky sú rozdelené do troch skupín podľa zaťaženia. V každej

skupine sú hodnoty RMS z kombinácií dvoch rýchlostí otáčania a troch typov poškodenia.



Obr. 2.12 Porovnanie amplitúdy signálu AE pre rôzne podmienky (11)

Na obr. 2.12 sú porovnané hodnoty amplitúdy signálu AE pre rôzne podmienky testovania. Tak ako v predchádzajúcom prípade sú výsledky rozdelené do troch skupín podľa zaťaženia. V každej skupine sú hodnoty amplitúdy z kombinácií dvoch rýchlostí otáčania a troch typov poškodenia.



Obr. 2.13 Porovnanie počtu špičiek signálu AE pre rôzne podmienky (11)

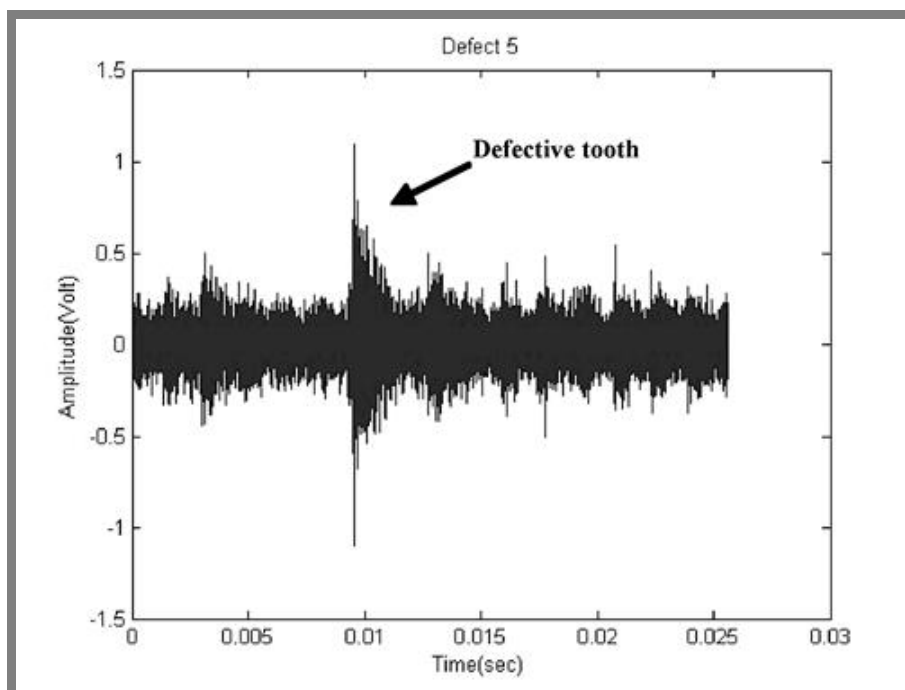
Aj porovnanie počtu špičiek signálu AE zobrazené na obr. 2.13 bolo zoradené podľa zaťaženia, rýchlosti otáčania ložiska a poškodenia.

Z výsledkov vyplýva, že počet špičiek signálu AE nie je vhodným parametrom na detekciu malých porúch, ale je to vhodný parameter na detekciu väčších poškodení. Amplitúda signálu AE výrazne rastie už pri vzniku poškodenia, ale nie je vhodná na určenie závažnosti a rozsahu poškodenia. Parameter RMS signálu AE nie je citlivý na veľkosť poškodenia, ale je veľmi citlivý na rýchlosť otáčania. Celkovo z grafov vyplýva, že konštantné zaťaženie má nevýrazný vplyv na parametre signálu AE. Pri testovaní ložísk musí byť ako prvá do úvahy braná rýchlosť otáčania. (11)

AE sa dá využiť aj na detekciu porúch prevodoviek. Eftekharnejad vypracoval štúdiu (12), ktorá porovnáva signál AE z prevodovky s šikmými zubmi, pri rôznej veľkosti poškodenia zubu. Bola snaha zistiť vplyv poškodenia na parametre signálu AE.

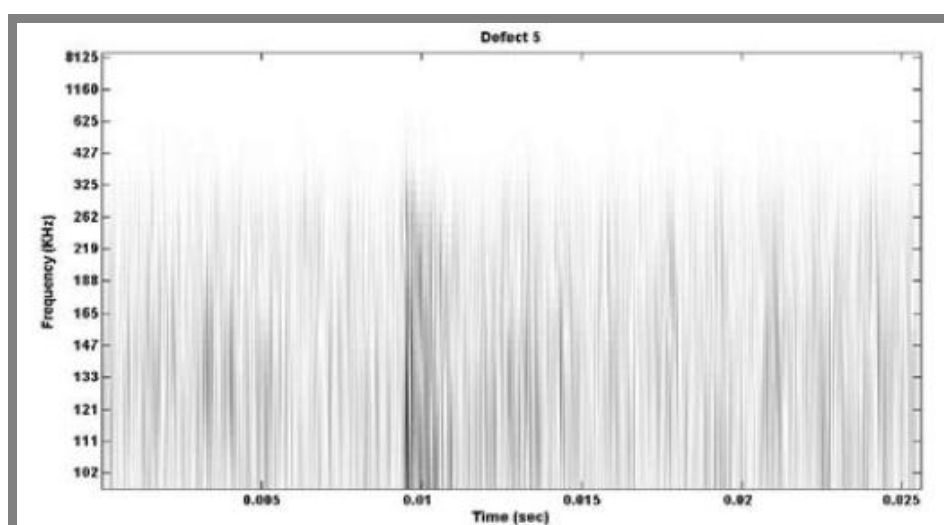
Prvé merania boli bez poškodenia, potom bola na bočnej ploche jedného zubu vytvorená drážka, ktorá bola ďalej zväčšovaná až do dĺžky 25,5 mm a šírky 6,4 mm. Merania boli robené v troch sériách, pričom bol točivý moment 180 N.m, 250 N.m a

360 N.m. Pre všetky merania bol použitý širokopásmový senzor s rozsahom 100 kHz až 1 MHz. Pred testom boli prevodovky zahriate na prevádzkovú teplotu. V parametroch signálu AE sa vada prejavila výrazným zvýšením amplitúdy signálu v časovej oblasti.



Obr. 2.14 Záznam signálu AE (12)

Pre každé poškodenie bolo meranie opakované 20 krát, pre každú sériu boli hodnoty RMS signálu AE sprmerované a vynesené do grafu. Bolo zistené, že pri zväčšení poškodenia sa zväčšovala hodnota RMS signálu AE pre všetky podmienky testu. Nameraný signál AE bol pomocou vlnkovej transformácie prevedený do frekvenčnej oblasti. Porovnaním frekvenčných spektier signálov pred a po vytvorení poruchy bolo zistené, že ani väčšie poruchy nesúvisia s konkrétnou frekvenciou, ale prejavujú sa v širokom pásme frekvencií.



Obr. 2.15 Frekvenčné spektrum signálu AE z prevodovky s poškodením (11)

Zo štúdie vyplýva, že nie vždy stačí rozdeľovať merania na dve skupiny - poškodené a nepoškodené, ale treba brať do úvahy aj veľkosť poškodenia. Niektoré poruchy sa nedarí detekovať vo frekvenčnom pásme, ale môžu byť výrazné v časovom. (12)

Práca Mohamada Shadi Nasheda (13) sa týka kontroly stavu turbín pomocou akustickej emisie. Cieľom bolo zistiť aké zdroje AE sú v turbíne, a zistiť či tieto zdroje môžu poskytnúť užitočné diagnostické informácie za normálnych prevádzkových podmienok alebo poruchových stavov, ako napríklad nevývaha rotora a symetricky odbrúsené konce lopatiek.

Boli použité dva senzory s rozsahom meracích frekvencií 50 kHz až 1MHz, odolné voči teplote. Bol zisťovaný aj vplyv umiestnenia snímačov na výsledky meraní. Každé meranie bolo opakované 20 krát pre dané podmienky. Menilo sa zaťaženie turbíny a rýchlosť otáčania od 100 do 400 ot/sec. Pozorované parametre signálu AE boli amplitúda, RMS, počet špičiek, energia, kurtosis (vyjadruje výšku a ostrosť špičky krivky signálu) a skewness (vyjadruje veľkosť a smer skosenia krivky signálu).

Najvhodnejším parametrom signálu AE na určenie vhodného umiestnenia snímačov AE bola energia signálu AE, ktorá pri nevhodnom umiestnení klesla až o 45%. Bolo tiež zistené, že poškodené lopatky vytvárajú v signály AE zmeny pozorovateľné vo frekvenčnom pásme pri vyššej prevádzkovej rýchlosti turbíny. Spôsob analýzy signálu závisí od samotnej aplikácie. Pre niektoré aplikácie je analýza v časovej oblasti dostačujúca (napríklad určenie vhodného miesta pre upnutie snímačov), pričom pri inej použitia je potrebná analýza vo frekvenčnom pásme (napríklad určenie poškodenia lopatiek turbíny). (13)

2.2.2 Spracovanie signálu AE

2.2.2

Na analýzu, resp. zistenie spektrálneho zloženia najmä stacionárneho signálu akustickej emisie sa často používa Fourierova transformácia. Jej vlastnosťou je, že všetky spektrálne zložky zobrazuje nezávisle od času ich výskytu, čo je nevhodné pri vyhodnocovaní signálu impulzov. V tom prípade je možné vybrať časový interval a preň použiť krátkodobú Fourierovu transformáciu (Short Time Fourier Transform - STFT) Tá sa používa na analýzu nestacionárnych signálov. Zvolenie dlhého intervalu spôsobí dobré frekvenčné rozlíšenie, ale časová rozlišovacia schopnosť sa zníži. Zvolenie krátkeho intervalu spôsobí dobré časové rozlíšenie na úkor frekvenčného rozlíšenia.

Ďalším často používaným spôsobom je vlnková transformácia. V porovnaní s Fourierovou transformáciou poskytuje lepší prehľad o spektrálnom zložení signálu a zároveň o jeho rozložení v čase. Jej podstatou je napasovanie vlnky (waveletu) na časť signálu tým, že sa zmení mierka frekvencie (vodorovná osa), amplitúda (zvislá osa) a poloha (posun vodorovnej osi). Vyššie frekvencie majú väčšie rozlíšenie v čase a nízke sú lepšie lokalizované vo frekvenčnej oblasti. Vlnková transformácia je vhodná na analýzu nestacionárneho signálu. (14)

2.2.3 Snímače AE

2.2.3

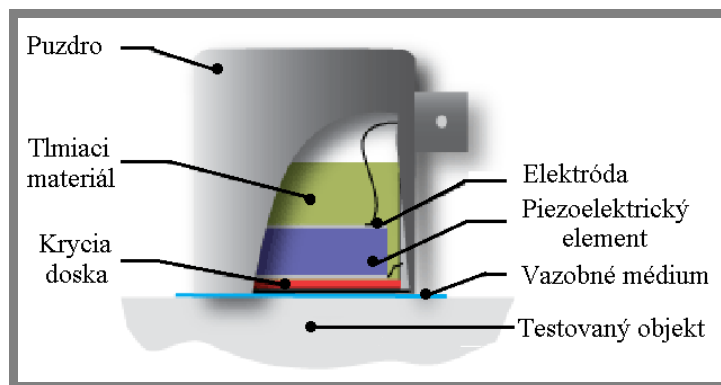
Snímače prevádzajú vlny z povrchu materiálu na elektrický signál, preto sú základným prvkom pri detekcii AE. Upevňujú sa na povrch skúšaného telesa, aby snímali výchylku povrchu. Veľkosť a frekvenciu výchylky menia na elektrický signál, ktorý sa ďalej spracováva. (15)

Snímače AE sa rozdeľujú podľa viacerých kritérií. Najvýznamnejším z nich je princíp konštrukcie. Existujú kapacitné, elektromagnetické, fotoakustické, elektroakustické, piezorezistívne snímače, ale najčastejšie používaným typom sú piezoelektrické snímače.

Okrem princípu konštrukcie sa snímače rozdeľujú aj podľa nasledujúcich kritérií. Podľa frekvenčného rozsahu na nízkofrekvenčné a vysokofrekvenčné (14), podľa pracovných teplôt na štandardné (-20 až $+70^{\circ}\text{C}$), s rozšíreným rozsahom pracovných teplôt (-40 až 150°C) a vysokoteplotné snímače (do 300°C). Podľa mechanickej odolnosti sa delia na laboratórne, priemyslové a hermetické. Podľa spôsobu spojenia s meraným objektom sa delia na snímače určené na pripojenie priamym lepením, magnetickým držiakom, naskrutkovaním, pomocou vlnovodu, a ďalšie. (15)

Piezoelektrické snímače

Základným prvkom piezoelektrických snímačov je piezoelektrický kryštál s elektródou, ktorý prevádza mechanický pohyb na signál elektrického napätia. Na kryštál sa upevňuje tlmič, ktorý rozširuje merateľný rozsah snímača, ale znižuje citlivosť snímača. Kryštál je chránený ochrannou vrstvou. Vlastnosti snímačov sú závislé od materiálu piezoelektrického elementu. Obvykle sa vyrába z barium-titanovej, zirkónátovej alebo nióbátovej keramiky. (17)



Obr. 2.16 Schéma konštrukcie piezoelektrického snímača AE (19)

V laboratóriu akustickej emisie na ÚK sa používajú piezoelektrické snímače od firmy Dakel. Snímače Dakel je možné použiť až pre frekvencie 2,8 MHz. Pri frekvenciách vyšších než 1 MHz je prenosová charakteristika ovplyvnená vlastnosťami použitého koaxiálneho kábla. (16)

2.3 Upínače pneumatických valcov

V súčasnosti nie sú k dispozícii podobné stanice z ktorých by sa dalo vychádzať pri konštrukčnom návrhu stanice v rámci zhrnutia súčasného stavu poznania, ale podarilo sa nájsť podklady k významnému konštrukčnému prvku stanice, ktorým je spôsob upnutia pneumatických valcov. Upínač testovaných valcov musí umožniť rýchlu výmenu valcov a zároveň pevne držať testovaný piest na mieste. Dôležitá je stabilita upnutia, pretože aj malý pohyb testovaného valca počas merania akustických emisií by výrazne narušil výsledný signál AE. Testovaný valec nesmie byť počas testovania poškodzovaný.

V praxi sa pre montáž pneumatických valcov do pracovných strojov používa rôzne príslušenstvo upevnené skrutkami, ktoré zabráni pohybu valca, prípadne umožní

natáčanie valca počas pracovného cyklu. Tradičné spôsoby upnutia pneumatických valcov nie sú vhodné na konštrukciu skúšobnej stanice, pretože výmena valcov je zdĺhavá. Je potrebné použiť rýchlejší spôsob. Existuje viacero spôsobov, ako zabezpečiť rýchle upnutie telesa s dobrou tuhosťou. Prevažne sa používajú pri upínaní obrobkov a nástrojov. (18)

Na upínanie telies sa používajú rozličné zveráky, upínacie svorky a rýchloupínače. Upínacie systémy na princípe zveráka sa používajú tam, kde je požadovaná vysoká tuhosť a sila upnutia. Ich nevýhodou je, že zaberajú veľký priestor. Svorky majú nižšiu tuhosť v porovnaní so zverákmi, sú dostatočne silné na upnutie pneumatických valcov. Zaberajú malý priestor, preto nebránia v napojení snímačov AE na pneumatický valec. Rýchloupínače, ako napríklad upínacie kliešte a pákové upínače, sa používajú prípadoch keď záleží na rýchlosti upínania a zároveň nie sú kladené extrémne požiadavky na tuhosť upnutia. Na trhu sú k dispozícii viaceré druhy pákových rýchloupínačov – vertikálne, horizontálne, ťahové, ovládané ručne aj pneumaticky atď.

3 ANALÝZA PROBLÉMU A CIEĽ PRÁCE

3.1 Analýza problému

Pneumatické valce sú v priemysle bežne používané, preto ich poruchy spôsobujú značné finančné straty. Typické poruchy pre pneumatické valce sú napríklad zadieranie piestu, stick-slip a pod., ale z hľadiska diagnostiky stavu pneumatických valcov má najväčší význam únik vzduchu. Ostatné poruchy sú často sprevádzané únikmi vzduchu. Samotný únik je však často dlhodobo prehliadaný. Zatiaľ nebola vytvorená vhodná metóda online diagnostiky poškodenia pneumatických valcov, preto vznikol projekt ktorého cieľom je túto metódu vyvinúť. Pre vývin metódy je potrebné veľké množstvo meraní signálu AE z poškodených a nepoškodených pneumatických valcov, preto je potrebné zostrojiť skúšobnú stanicu, na ktorej merania prebehnú.

3.2 Ciele práce

Ciele práce sú:

- Návrh a zostrojenie zariadenia na upínanie pneumatických valcov, umožňujúce meranie AE vrátane dlhodobých skúšok
- Overenie funkčnosti zariadenia a predvedenie praktickej identifikácie poškodenia

Dielčie ciele :

- Návrh a realizácia skúšobnej stanice
- Overenie funkcie a návrh skúšobného postupu
- Vyhodnotenie experimentálnych dát s príkladmi poškodení

Zariadenie musí zabezpečiť rýchle upnutie vybraných typov pneumatických valcov o dĺžke od 145 do 270 mm a šírke 20 až 55 mm z výrobného programu firmy PS, a.s. a umožniť upnutie snímačov AE. Skúšobná stanica musí byť schopná pracovať automaticky a dlhodobo. Konštrukčný návrh bude vychádzať z provizórneho zariadenia, ktoré je v súčasnej dobe využívané v laboratóriu AE v ÚK na FSI. Toto provizórne zariadenie umožňuje automatický chod piestu, ale má viacero nevýhod. Nie je dostatočne robustné na dlhodobé prevádzkové skúšky, výmena pneumatických valcov a snímačov AE je prácna, a pri meraní môže dochádzať k snímaniu rušivého signálu z okolia. Funkčné zariadenie bude vyrobené v dielňach ÚK a ako základová doska bude použitá základňa zo zrušeného zariadenia TalySurf.

Práca vzniká v spolupráci s firmou Poličské strojárny a.s. a je súčasťou projektu TAČR, ktorého cieľom je vypracovať metódu diagnostiky pneumatických valcov pomocou AE. Pre zistenie základných charakteristík AE v rámci projektu sú zvolené valce s označením PB6040C020 a PS5040C0100. Je pravdepodobné, že v budúcnosti budú testované aj iné typy pneumatických valcov. Všetky použité pneumatické valce sú vyrábané firmou Poličské strojárny a.s.

Funkčnosť stanice bude overená pomocou opakovaných meraní akustickej emisie vybraných valcov. Prípadné nedostatky stanice budú odstránené. Po overení funkčnosti stanice a dosiahnutí dostatočnej opakovateľnosti výsledkov meraní bude vypracovaná databáza meraní pre typ valca PB6040C020 a PS5040C0100. Cieľom týchto meraní je nájsť charakteristiky signálu AE, ktorými sa prejavujú poruchy

jednotlivých častí pneumatických valcov a úniky vzduchu zo systému. Po odladení metódy meraní a spracovania dát bude vypracovaná databáza signálov z nepoškodených a poškodených pneumatických valcov. Tieto signály budú porovnané, aby bolo možné priradiť jednotlivé poruchy k parametrom signálu AE. Detailný rozbor signálu AE nie je cieľom práce. Vypracovaná databáza bude použiteľná pre vývoj celej diagnostickej metódy pneumatických valcov. Výstupy práce sú funkčný vzorek, výkresová dokumentácia, laboratórny protokol.

4 KONCEPČNÉ RIEŠENIA

Pred konštrukciou zariadenia je vhodné vypracovať viacero konceptných návrhov. Najvhodnejšie z navrhnutých riešení sú detailnejšie rozpracované a vyskúšané.

4.1 Vstupy a požiadavky

Hlavnými kritériami výberu variant sú náročnosť výroby, cena, jednoduchosť obsluhy a rýchlosť výmeny testovaných pneumatických valcov.

Skúšobná stanica musí obsahovať upínač, ktorý bude schopný upnúť všetky testované typy pneumatických valcov. Testovaný valec je potrebné izolovať od ostatných súčastí skúšobnej stanice vrstvou pryže, aby sa doň neprenášal rušivý signál AE z ostatných dielov stanice. Ďalej musí stanica obsahovať zariadenie na vyvodenie sily na piest valca. Testovaný valec sa musí dať vymeniť rýchlo, čomu je treba prispôbiť upínač aj spojovací prvok so zariadením na vyvodenie sily na piest. Pre zabezpečenie cyklického pohybu piestu pneumatického valca je potrebné prepínať smer prívodu tlakového vzduchu v momente, keď piest dosiahne koncovú polohu. Na snímanie koncových polôh piestu budú použité dva indukčné snímače napojené na základovú dosku. Bude použitá základňa zo zrušeného zariadenia TalySurf, pretože je dostatočne masívna a má drážky pomocou ktorých sa na ňu dajú jednoducho pripevniť iné súčasti bez dodatočných úprav.

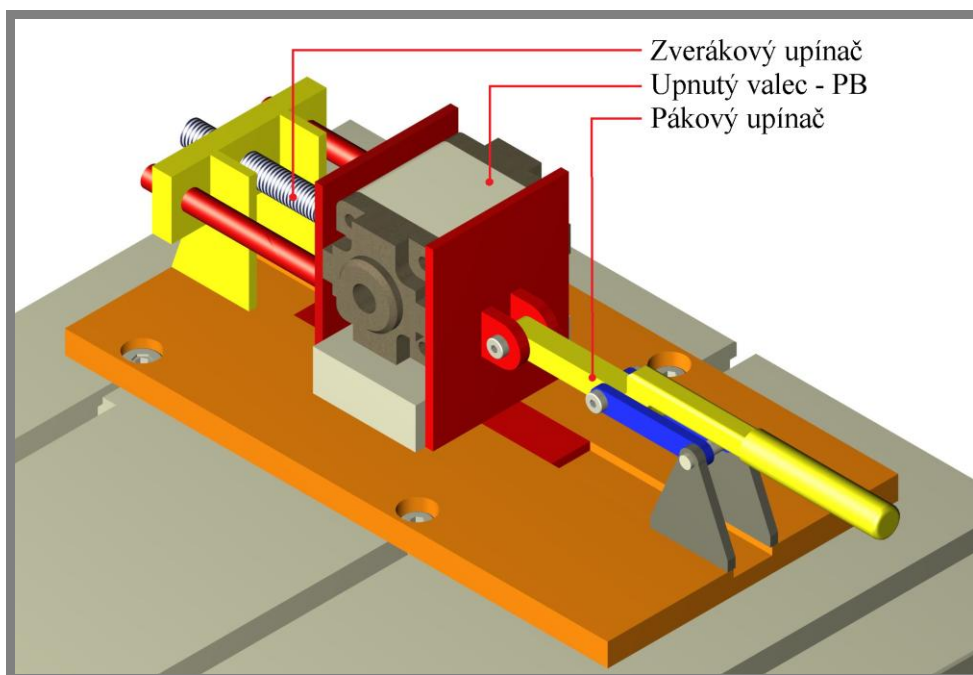
Skúšobná stanica sa skladá z viacerých častí, ktoré sú popísané v tejto kapitole.

4.2 Upínanie pneumatických valcov

Ako prvý krok je potrebné nájsť spôsob, ako rýchlo a jednoducho upnúť k základovej doske pneumatické valce rozličných rozmerov. Zároveň musí byť umožnené k upnutému valcu pripevniť snímače AE a hadice rozvodov vzduchu. Testovaný valec musí byť od upínača oddelený vrstvou pryže, ktorá dobre pohlcuje AE, aby sa zabránilo prenosu AE z okolia do testovaného valca. Boli navrhnuté nasledovné varianty upínača:

Variant 1

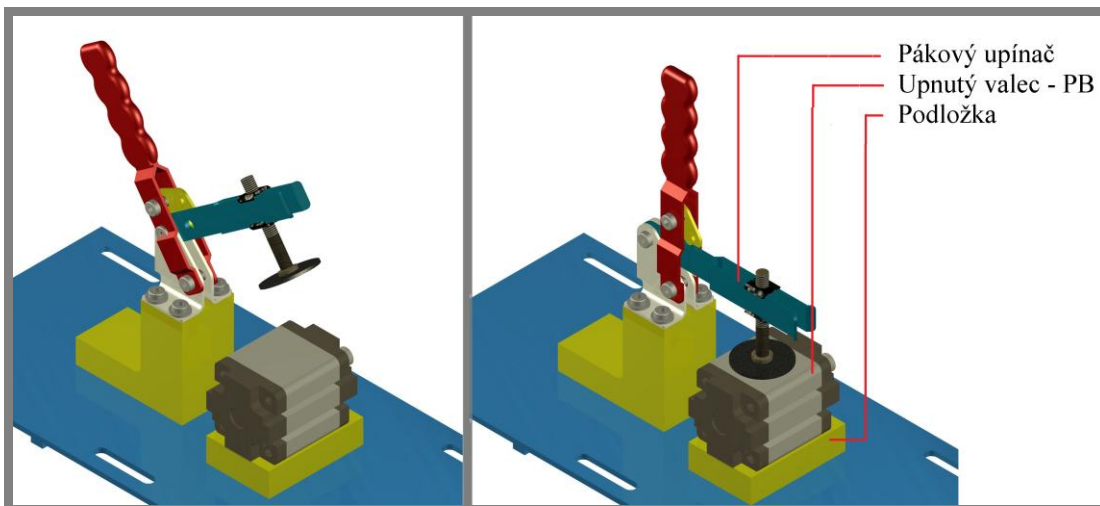
Prvý variant vychádza z kombinácie pákového upínača, a zverákového upínača. Testovaný pneumatický valec je z bočných strán pritlačovaný dvomi stenami, ktoré mu zabráňujú v pohybe. Jednu zo stien je možné pomocou páky uvoľniť, tým je umožnená veľmi rýchla výmena testovaných valcov v rámci jedného typu. Poloha druhej steny je nastaviteľná pomocou závit, čím je umožnené upnúť pneumatické valce rôznej veľkosti. Testované valce je možné podložiť vhodnou podložkou, čím sa zabráni rušeniu signálu AE. Je tým tiež zabezpečené, že osi piestov budú v rovnakej výške aj pre pneumatické valce rôznych priemerov a tvarov. Priestor na vrchnej strane valcov je dostatočný pre upnutie snímačov AE. Variant 1 je na obr. 4.1.



Obr. 4.1 Variant 1 upínača valcov

Variant 2 :

V druhej variante je testovaný valec upnutý medzi základnú dosku a rameno pákového upínača. Priestor pre upnutie snímačov je zhora a z bokov. Možnosť upnúť rôzne typy valcov je riešená pomocou podložiek. Variant 2 je na obr. 4.2.



Obr. 4.2 Variant 2 upínača valcov

V porovnaní s variantom 1 je variant 2 jednoduchší na výrobu. V prípade vhodne zvolených podložiek obidva varianty umožňujú uloženie testovaných valcov tak, aby mal každý z nich osu v rovnakej polohe. Výhodou varianty 2 je, že poskytuje viac priestoru na upínač snímačov AE a snímač koncovej polohy piestu testovaného valca. Vhodným riešením prítlačného ramena upínača v kombinácii s podložkou zaručuje u variantu 2 rovnakú upínaciu silu pre všetky valce daného typu.

4.3 Snímače koncovej polohy

Aby testovaný pneumatiký valec správne fungoval, je potrebné prepínať prívod tlakového vzduchu do komôr valca v momente, keď piest dosiahne koncovú polohu. Na snímanie koncovej polohy budú použité dva snímače typu pulso-tronic 9984-4065. Jedná sa o analógové indukčné snímače s operačnou vzdialenosťou do 20 mm. Snímače sú tvaru valca s max. priemerom 18 mm a celkovou dĺžkou 105 mm. Snímače je potrebné pripevniť ku základnej doske tak aby neprekážali ostatným súčastiam a zároveň sa dala nastaviť ich poloha v závislosti od polohy piestu. Na obr. 4.3 sú navrhnuté varianty držiaka snímačov koncovej polohy piestu:

Variant 1:

Najlacnejší a najjednoduchší spôsob pripevnenia snímačov do vhodnej polohy je pevný plechový držiak. Umožňuje nastaviť polohu snímačov v osách X a Y. Pre použitie tejto varianty sa predpokladá, že všetky testované valce budú mať osy piestov v rovnakej výške

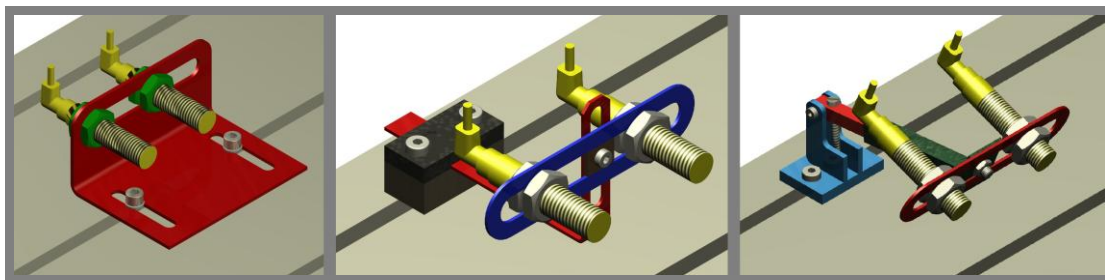
Hlavnou nevýhodou je malá univerzálnosť držiaka. Variant 1 zaberá veľa miesta, čo môže spôsobiť komplikácie pri nastavovaní správnej polohy ostatných dielov stanice.

Variant 2:

Ďalšou možnosťou ako zabezpečiť správnu polohu snímačov je držiak, ktorý umožní nastavenie polohy v troch osách. Oproti variantu 1 je náročnejší na výrobu. Jeho výhodou je, že manipulácia s ním je jednoduchá, a zaberá malý priestor.

Variant 3:

Variant 3 tiež umožňuje nastavenie polohy v 3 osách. Rameno držiaka je k doske pripevnené tak, že nezaberá veľa priestoru v oblasti upínača valcov. Poskytuje tiež možnosť odklopiť snímače a tým poskytnúť viac priestoru pre manipuláciu s ostatnými časťami stanice. Variant je náročnejší na výrobu.



Obr. 4.3 Varianty držiaka snímačov koncovej polohy piestu

4.4 Zat'aženie

Skúšobná stanica bude využívaná aj na merania za účelom porovnania signálov AE zat'ažených a nezat'ažených pneumatikých valcov. Preto je potrebné navrhnuť spôsob vyvedenia sily na piest testovaného pneumatikého valca.

Variant 1:

Piest testovaného PV je spojený s piestom druhého pneumatikého valca. Zat'ažovací valec má komory prepojené hadicou s guľovým ventilom, takže je možné regulovať

prietok vzduchu a tým ovplyvňovať silu vyvíjanú na piest testovaného valca. Táto sila sa dá meniť počas merania bez nutnosti meranie prerušiť. Nevýhodou je, že presnú hodnotu sily nie je jednoduché určiť.

Variant 2:

Na piest testovaného PV sa napojí závažie, ktoré sa bude pri pohybe trieť o podložku. Veľkosť trecej sily sa dá jednoducho meniť zmenou hmotnosti závažia. Veľkosť sily sa dá jednoducho zistiť. Trenie by mohlo ovplyvniť výsledky merania AE.

4.5 Spojenie piestu testovaného valca s piestom zaťažovacieho valca4.5

Pri meraní zo zaťažením piestu je potrebné spojiť piest so zariadením na vyvodenie sily tak, aby sa do testovaného valca nedostal rušivý signál AE. Zároveň je potrebné zachovať rýchlosť upnutia a možnosť upnúť piesty o rôznych priemeroch, ukončené vnútorným aj vonkajším závitom. Na obr. 4.4. sú zobrazené navrhnuté varianty riešenia 2 (vľavo) a 3 (vpravo).

Variant 1 : sklídlo

Sklídlo je konštruované tak, aby umožnilo upnúť valcovité súčasti rôznych priemerov. Aby neboli prenášané rušivé signály AE, je potrebné upevniť na čeluste sklídla vrstvu pryže. Problém môže vzniknúť pri upínaní piestu, ktorý je príliš krátky, alebo má závit ktorý by pryžovú vrstvu poškodil. Nevýhodou je, že aj malá nesúososť voči piestu môže spôsobiť, že sklídlo nebude plniť funkciu.

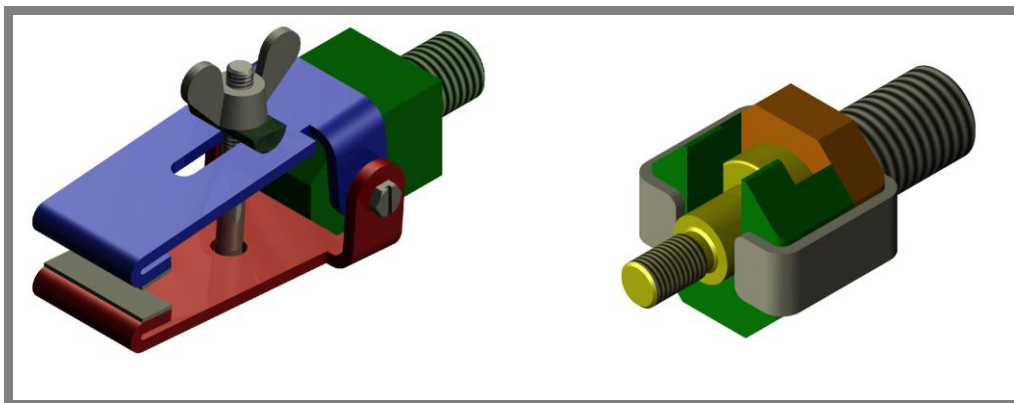
Variant 2 : kliešťový upínač

Podobne ako sklídlo, aj kliešťový upínač je schopný upnúť valcovité súčasti rôznych priemerov. Spodná čelusť sa dá zafixovať vo vhodnej polohe pre každý priemer testovaného pneumatického valca. Vrchná čelusť je pritom voľne pohyblivá a dá sa zaistiť a odistiť pomocou krídlovej matice, čím je umožnená rýchla výmena pneumatických valcov. Na čelustiach upínača sú pryžové prúžky, ktorých účelom je zabrániť prenosu akustických emisií do testovaného valca. V porovnaní so sklídлом, kliešťový upínač zaberá menej miesta a je jednoduchší na ovládanie. Malé nesúososti by nemali spôsobiť problém.

Variant 3 : nasúvací spoj

Napojenie rôznych typov piestov testovaných valcov je riešené pomocou špeciálnej matice pre typ PB6040C020 a skrutky pre typ PS5040C0100. Skrutka, resp. matica sa pred upnutím valca napojí na koniec piestu testovaného valca.

Na piest zaťažovacieho valca je napojená súčasť, do ktorej sa z hora zasunie piest testovaného valca. Kvôli matici a skrutke sú všetky piesty testovaných valcov ukončené rovnakým tvarovým prvkom. Spojovacia súčasť je vyrobená z materiálu schopného tlmiť AE, čím sa bráni rušeniu signálu testovaného valca signálom zo zaťažovacieho valca. Možnou nevýhodou tejto varianty je životnosť. Pri dlhodobom cyklickom zaťažení by mohlo dôjsť k vymačkaniu nekovových častí spojky piestov.



Obr. 4.4 Varianty spojenia piestov 2 a 3

4.6 Pripojenie snímačov AE

Obvykle sa snímače AE na testované telesá pripevňujú lepením. Tento spôsob je určený pre trvale umiestnené snímače. V prípade testovania na skúšobnej stanici majú byť snímače pripevnené len krátkodobo. Časté lepenie, odliepanie a očisťovanie plôch sa prejavuje poškodením kontaktných plôch snímača aj testovaného valca. Preto musia byť snímače v správnej polohe pridržiavané inak. Snímač je potrebné pritlačiť na rovný povrch testovaného telesa, pričom je dôležité aby bola pritlačná sila konštantná. Medzi kontaktnými plochami snímača a testovaného valca musí byť pridané malé množstvo väzbového média, napríklad mazacieho tuku. Boli navrhnuté viaceré varianty upínača snímačov AE, zobrazené na obr. 4.5.

Možné spôsoby upnutia snímačov sú závislé od zvolenej varianty upínača testovaných valcov. Nasledujúce varianty upínača snímačov AE vychádzajú z variantu 2 upínača valcov.

Variant 1:

Snímače sa vsadia do pryžovej izolácie niektorého z pritlačných prvkov upínača valcov. Tento variant je citlivý na presnosť výroby. Malá rozmerová výchylka môže spôsobiť že snímač nebude dostatočne pritlačený, alebo bude pritlačený príliš a môže dôjsť k jeho poškodeniu.

Variant 2 :

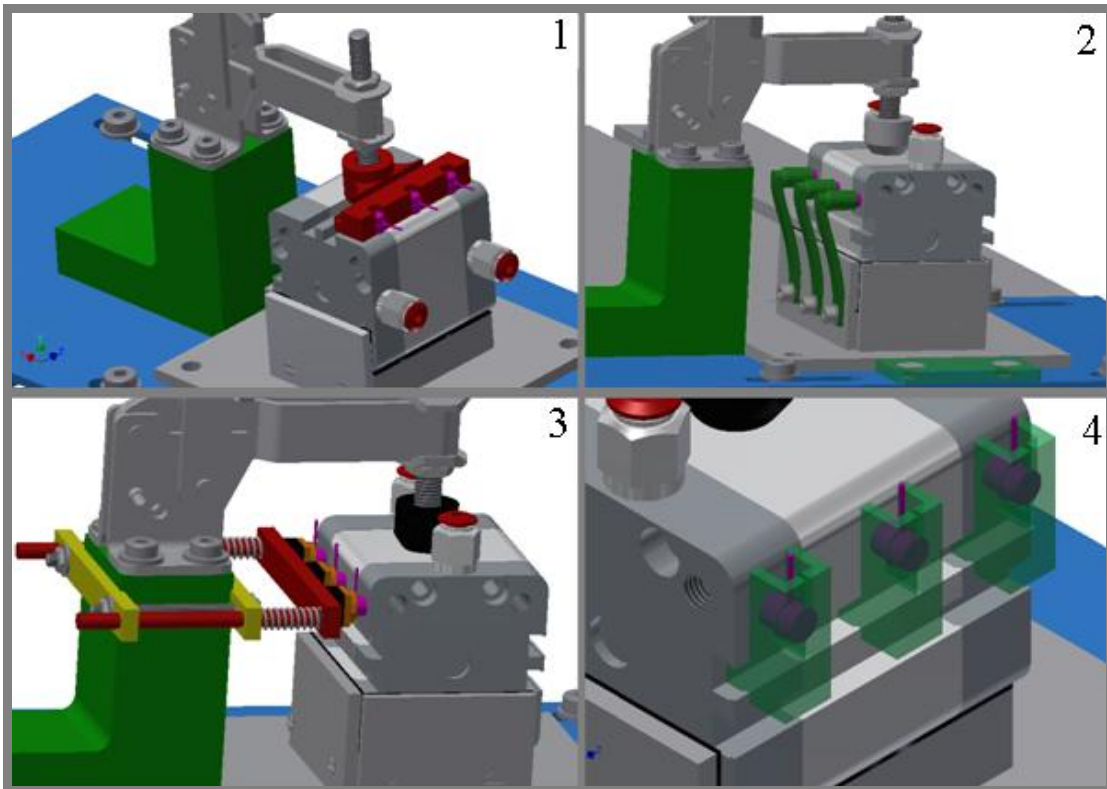
Každý zo snímačov je pritláčaný k testovanému valcu listovou pružinou pripevnenou k podložke valca. Výhodou je, že pritlačná sila sa dá prispôsobiť úpravou pružiny. Takto umiestnený snímač je vždy pritláčaný rovnakou silou.

Variant 3 :

Na podstavec pákového upínača je pripevnený držiak snímačov, ktorý jednotlivé snímače pritláča pomocou vrstvy pryže a dvoch pružín, ktoré tiež bránia poškodeniu snímačov v prípade príliš veľkej pritlačnej sily. Veľkosť pritlačnej sily je približne rovnaká pre všetky 3 snímače. Predopnutím pružín je možné pritlačnú silu regulovať.

Variant 4 :

Na upnutie snímačov sa dajú použiť drážky v tele pneumatických valcov. Tento spôsob zaberá málo miesta. Nevýhodou je zložité nastavenie prítláčnej sily a presnosť výroby.



Obr. 4.5 Varianty upínača snímačov AE

5 VÝSLEDNÉ RIEŠENIE

Táto kapitola popisuje výsledné konštrukčné riešenie skúšobnej stanice, použitý merací reťazec, postup overenia funkčnosti, komplikácie ktoré sa počas testovaní vyskytli a ich riešenie. Druhá časť kapitoly popisuje postup merania a výsledky. Jednotlivé prvky je potrebné navrhnuť tak, aby sa dali vyrobiť v dielni UK. Skúšobná stanica má byť umiestnená v laboratóriu akustickej emisie na ÚK.

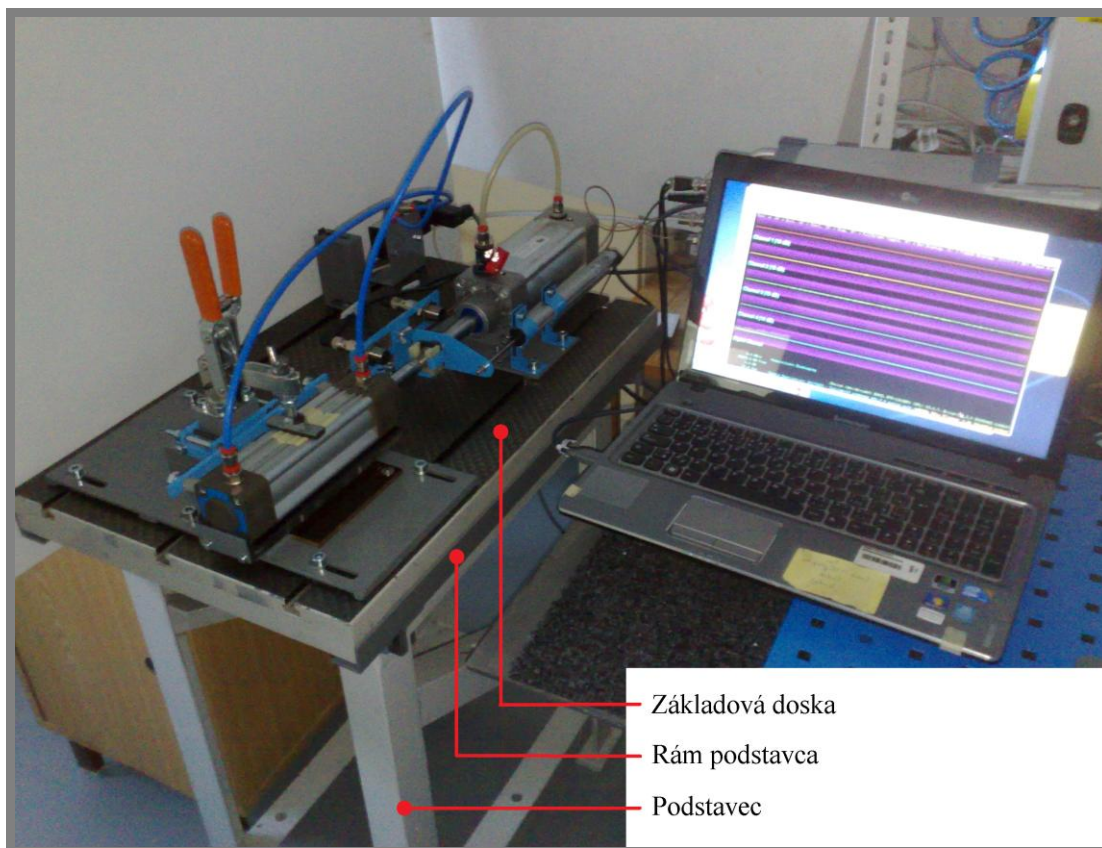
5.1 Konštrukčná časť

5.1.1 Základová doska a podstavec

Ako základ skúšobnej stanice je použitá základová doska zo zrušeného zariadenia Talysurf. Základová doska má vysokú tuhosť a dostatočnú rozmerovú presnosť. Jej rozmery sú 620 mm x 400 mm. V doske sú vyfrézované tri drážky v tvare „T“, určené na špeciálne matice, ktoré umožňujú pevné upnutie súčastí na hornej strane dosky, a zároveň poskytujú možnosť úprav polohy upnutých súčastí v jednej osi. Pre zjednodušenie popisu skúšobnej stanice je zvolené, že horizontálna osa v smere drážok základovej dosky je osou X. Druhá horizontálna osa je Y, osa Z je vo vertikálnom smere.

Základová doska je položená na podstavci zo zvarených profilov, ktorý bol pôvodne určený pre iné zariadenie. Výška podstavca je 705 mm, čo je pre skúšobnú stanicu vhodné. Šírka a dĺžka podstavca sú 510 mm a 340 mm. Aby základová doska neskĺzla z podstavca pri prenášaní skúšobnej stanice, je k podstavcu doplnený rám z L-profilov spojených skrutkami. Rám slúži aj ako držiak, takže sa dá stanica ľahšie preniesť. Medzi rámom a základovou doskou sú pásy z pryže.

Skúšobná stanica s podstavcom je na obr. 5.1.



Obr. 5.1 Skúšobná stanica

5.1.2 Popis testovaných valcov

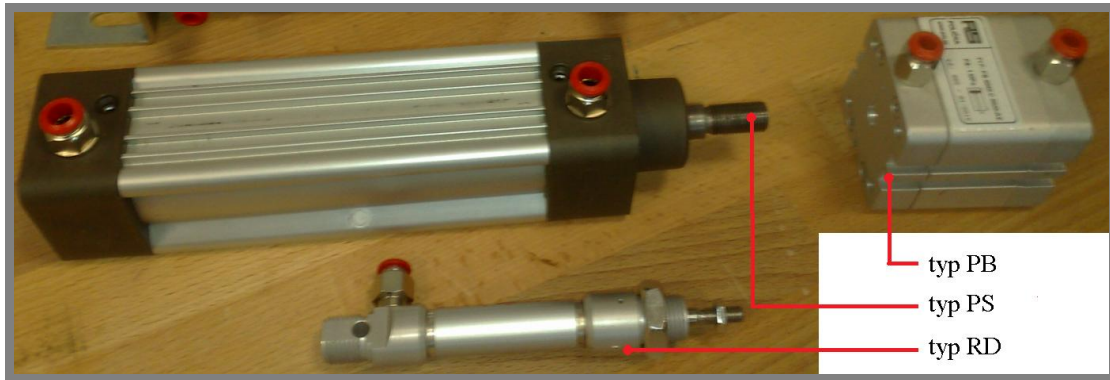
5.1.2

Na testovanie sú predbežne zvolené nasledovné typy pneumatických valcov:

Typ PS5040C0100 má rozmery 53x53 mm, dĺžka tela valca je 204 mm, celková dĺžka pri zasunutom pieste je 263 mm, rozsah pohybu je 100 mm. Piest má priemer 16 mm, na konci je zúžený, vonkajší závit M12 dĺžky 20 mm.

Typ PB6040C020 má rozmery 55x55 mm, dĺžka tela valca 65mm, celková dĺžka so zasunutím piestom je 72 mm, rozsah pohybu piestu je 20 mm. Piest je výrazne kratší ako pri ostatných typoch testovaných valcov, a je ukončený vnútorným závitom M8 s dĺžkou 15 mm

V súčasnosti sa nepredpokladá testovanie valcov iných typov ako PB a PS, ale je požadované aby skúšobná stanica v budúcnosti umožnila testovanie valcov iných typov. Jedným z nich je typ RD3012-040. Tento valec je kruhového prierezu s priemerom strednej časti tela 16 mm, dĺžka tela valca je 124 mm. Celková dĺžka pri zasunutom pieste je 144 mm, rozsah pohybu piestu je 50 mm. Piest má na konci vonkajší závit M5 s dĺžkou 14 mm. Na rozdiel od ostatných typov valcov je tento typ jednočinný. Vysunutie piestu je spôsobené tlakovým vzduchom, zasunutie zabezpečuje vratná pružina.



Obr. 5.2 Pneumatické valce predbežne zvolené na testovanie

5.1.3 Upnutie testovaných valcov

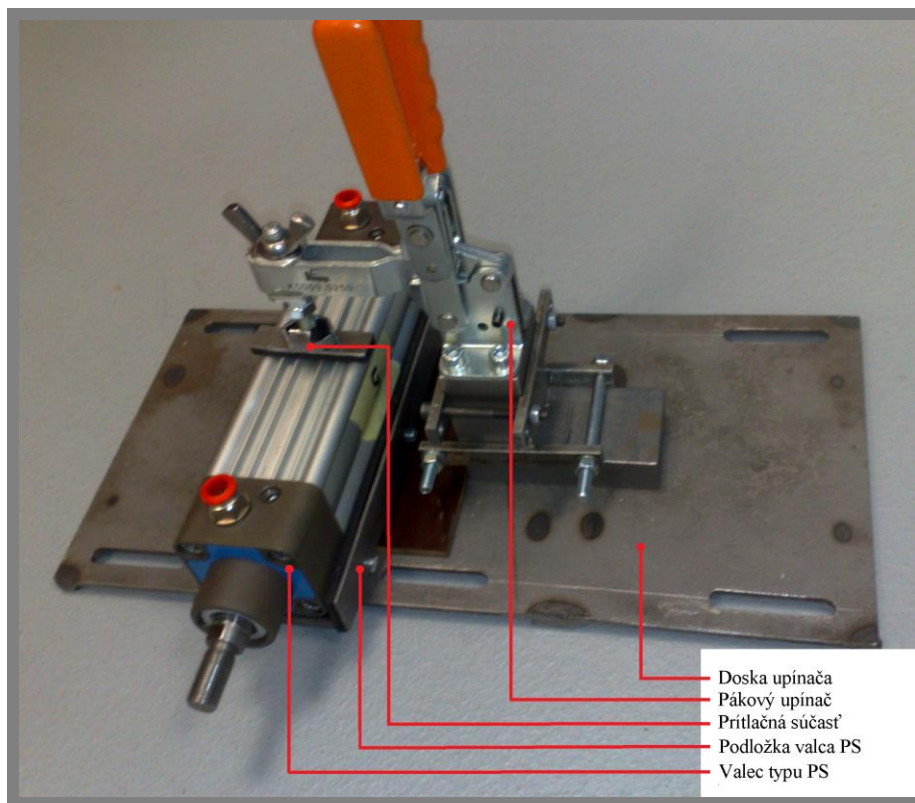
Na upnutie valcov bol zvolený variant 2, kde je testovaný valec upnutý pákovým upínačom. Bol zvolený vertikálny rýchlopínač typu 05716 s bezpečnostnou poistkou, s vodorovnou pätkou a nastaviteľnou skrútkou. Na rameno upínača je napojená závitová tyč, na konci ktorej je plechom vystužená vrstva pryže. Upínač je umiestnený na podstavci, ktorý je upevnený na ocelej doske. Na doske je tiež zarážka, ktorá vymedzuje polohu podložky testovaného valca. Úlohou podložky je zabezpečiť polohu a výšku osi testovaného valca. Pre každý typ valca je potrebné vyrobiť špeciálnu podložku. Na obr. 5.3 je zobrazený valec typu PS upnutý pákovým rýchlopínačom.

Popis podložiek

Všetky podložky majú spodnú časť rovnako veľkú – 123 mm x 123 mm.

Na nej je súčasť veľkosťou prispôbena tak, aby pneumatický valec na ňu položený mal osu vo výške 56,5 mm od základovej dosky. Zo zadnej a ľavej strany vymedzujú polohu testovaného valca plechové steny. Styčné plochy testovaného valca a podložky sú pokryté vrstvou pryže.

Prítlačné rameno pákového upínača umožňuje vymieňať súčasť, ktorá prenáša silu z upínača do testovaného valca. Pre každý typ valca je vyrobená jedna prítlačná súčasť. Takáto zostava umožňuje rýchlo vymieňať testované valce jedného typu.



Obr. 5.3 Spôsob upnutia testovaných pneumatických valcov

5.1.4 Zaťažovanie

Testovanie pneumatických valcov v laboratórnych podmienkach je jednoduchšie pre nezaťažené valce. Výsledky testov majú byť v neskoršej fáze projektu uplatnené v praxi aj na zaťažených pneumatických valcoch, preto je potrebné zistiť vplyv zaťaženia na signál AE. V súčasnej fáze projektu nie je potrebné presne určiť silu zaťaženia, ale je potrebné aby boli všetky merania robené s rovnakým zaťažením.

Na vyvodenie sily na piest testovaného valca je zvolený pneumatický valec s označením PS5060C0100. Dĺžka tela valca je 221 mm, šírka je 74 mm, celková dĺžka je 262 mm pri zasunutom pieste, rozsah pohybu piestu je 100 mm. Piest zaťažovacieho valca je ukončený vnútorným závitom M16. Valec je pripevnený k doske tak, že je umožnené nastavenie polohy v ose X. Sila zaťaženia závisí od toho, či je škrtový prívod a odvod vzduchu.

5.1.4

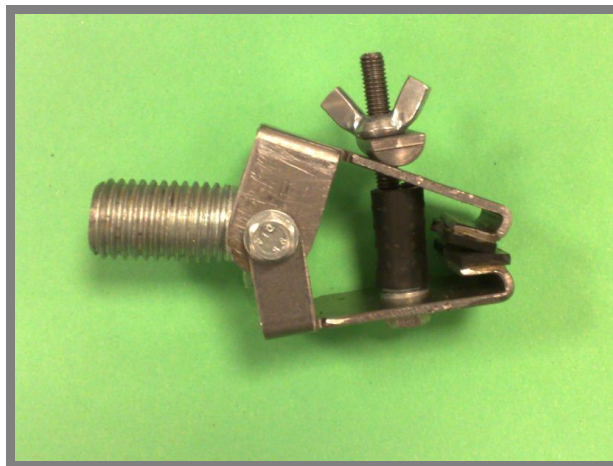
5.1.5 Spojenie piestov

Keďže testované pneumatické valce majú piesty rôznych priemerov s rozličným typom ukončenia, spojovací prvok piestov musí byť nastaviteľný na rôzne priemery a zároveň musí umožňovať rýchlu výmenu v rámci testovania jedného typu valcov. To bolo riešené pomocou kliešťového upínača konštruovaného tak, že spodná čeľusť sa dá zafixovať vo vhodnej polohe pre každý priemer testovaného pneumatického valca. Vrchná čeľusť je pritom voľne pohyblivá a dá sa zaistiť/odistiť pomocou krídlovej matice, čím je umožnená rýchla výmena pneumatických valcov. Na čeľustiach upínača sú pryžové prúžky, ktorých účelom je zabrániť prenosu akustických emisií z protivalca do testovaného valca.

Počas testovania tohto typu upínača boli zistené jeho nedostatky. Pri niektorých testoch došlo k natočeniu okolo osi piestov, a preto vznikali kolízie kliešťového

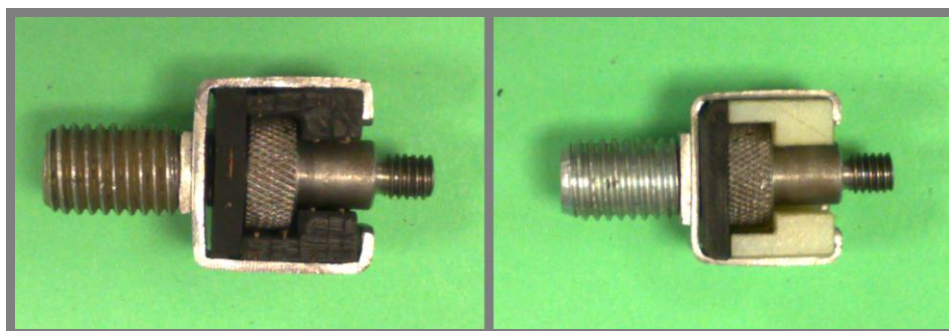
5.1.5

upínača zo snímačmi koncovej polohy piestu. V prípade že nebola vyvinutá dostatočná sila upnutia dochádzalo k posunu čelustí upínača po pieste v ose X. Pri dlhšom testovaní došlo k poškodeniu pryžovej vrstvy na čelustiach upínača spôsobenému závitom na konci piestu testovaného valca.



Obr. 5.4 Kliešťový upínač

Kvôli nedostatkom kliešťového upínača bol vypracovaný variant 3. Napojenie na rôzne typy piestov testovaných valcov je riešené pomocou špeciálnej matice pre typ PS5040C0100 a skrutky pre typ PB6040C020. Takto doplnené piesty sú ukončené rovnakým tvarovým prvkom. Na piest zaťažovacieho valca je napojená súčasť, do ktorej sa zhora zasunie piest testovaného valca. Spojovacia súčasť musí byť vyrobená z materiálu schopného tlmiť AE, čím sa zabráni rušeniu signálu testovaného valca signálom zo zaťažovacieho valca. Na výrobu spojovacej súčasti bola použitá pryž. Pri teste sa ukázalo, že styčné plochy pryžovej spojovacej súčasti sa ľahko poškadzujú o protikus, preto bola súčasť z pryže nahradená odolnejšou súčasťou vyrobenou z tvrdšieho nylonu, čím bol nedostatok odstránený.



Obr. 5.5 Nasúvací spoj

5.1.6 Snímače a elektronika

Snímače koncovej polohy

Aby bol umožnený automatický chod stanice, je potrebné snímať koncovú polohu piestov. To zabezpečujú 2 indukčné snímače typu pulso-tronic 9984-4065. Snímače sú valcového tvaru s dĺžkou 105 mm, pričom na 60 mm dĺžky snímača je závit M18, určený na pripevnenie snímača. Snímače reagujú na prítomnosť kovu vo vzdialenosti do 20 mm od prednej strany snímača.

Vzhľadom k zvolenému spôsobu upnutia testovaných valcov je potrebné zabezpečiť možnosť nastavenia polohy snímačov v osách X a Y tak, aby boli snímače dostatočne blízko piestu testovaného valca v dobe dosiahnutia koncových polôh. Na zabezpečenie správnej polohy bol pôvodne použitý variant 1 držiaka snímačov. Variant bol málo univerzálny, preto musel byť upravený tak, aby sa dala vrchná časť posúvať voči spodnej v ose X. Na nastavenie polohy v ose Y postačuje závit na snímačoch. Poloha v ose Z je konštantná, čo vyplýva zo spôsobu upnutia testovaných valcov. Výsledný držiak snímačov koncovej polohy je na obr. 5.6.



Obr. 5.6 Držiak snímačov koncovej polohy

Snímač aktuálnej polohy

Pri analýze signálu AE z pneumatických valcov je vhodné určiť fázu cyklu chodu valca. Preto je ako doplnková veličina meraná poloha piestu testovaného valca. Aktuálna poloha piestu je meraná pomocou lineárneho potenciometra typu MSLPT-200-D5-K1-M. Merací rozsah potenciometra je 200 mm, tiahlo má priemer 5 mm, ukončené závitom M5 s dĺžkou 20 mm.

Pre merania bez zaťaženia je osa snímača v ose testovaného valca. Keďže snímač obsahuje pohyblivé diely, je piest k snímaču napojený tak, aby sa zabránilo prenosu AE zo snímača do testovaného valca. V prípade meraní so zaťažením je snímač pripojený k zaťažovaciemu pneumatickému valcu.

Rozvádzací ventil

Tlakový vzduch je do testovaného pneumatického valca privádzaný cez rozvádzací ventil typu B9581RF-1/8. Ventil je ovládaný jednostranne trvalým elektrickým signálom, do základnej polohy sa prepína pružinou. Smer prúdenia vzduchu je určený podľa toho, ktorý zo snímačov koncovej polohy piestu testovaného valca bol spustený naposledy. Rozvádzací ventil a počítadlo cyklov sú zobrazené na obr. 5.7.



Obr. 5.7 Rozvážací ventil a počítadlo cyklov

Počítadlo cyklov

Na skúšobnej stanici majú prebiehať aj dlhodobé skúšky, ale ich cieľom nie je meranie životnosti, ale porovnávanie signálu AE v priebehu dlhšieho časového úseku. Testovaný valec má cyklicky pracovať. Po určenom počte cyklov majú byť urobené merania AE. Počet cyklov sa dá približne spočítať z pracovnej frekvencie a doby trvania práce pneumatického valca, ale to nie je dostatočne presný a spoľahlivý spôsob. Preto vznikla požiadavka na zapojenie počítadla cyklov do skúšobnej stanice.

Pôvodne bolo použité mechanické počítadlo cyklov, ktorého poloha bola nastaviteľná tak, aby v koncovej polohe piestu došlo k zatlačeniu páky počítadla a tým započítaniu cyklu. Počas meraní sa ukázalo, že pôvodné počítadlo cyklov nie je dostatočne spoľahlivé. Preto bolo nahradené novším počítadlom ovládaným elektricky. Započítanie cyklu je spôsobené privedením elektrického napätia 12V na relé počítadla. Po analýze elektrických rozvodov ovládacích prvkov skúšobnej stanice bolo zistené, že vhodným miestom pre zapojenie počítadla je napájanie rozvážacieho ventilu. Výhodou elektricky ovládaného počítadla je vyššia spoľahlivosť. Tiež je možné počítadlo umiestniť ďalej od piestu testovaného valca, čím je ušetrený priestor. Nové počítadlo nemôže rušiť priebeh testovania.

5.1.7 Upínanie snímačov AE

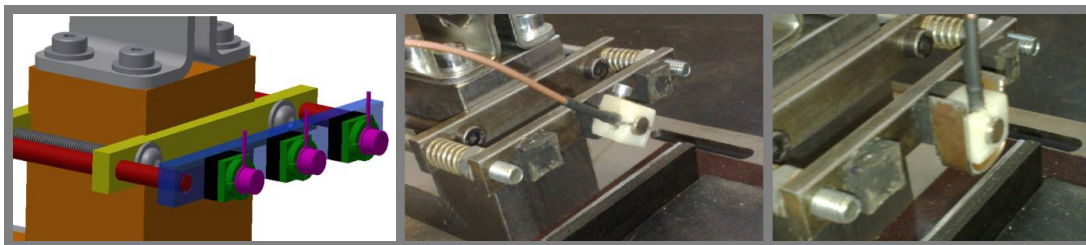
Na merania akustickej emisie sú použité snímače Dakel typ MIDI. Snímač má tvar valca s priemerom 6 mm, dĺžkou 6,3 mm. Z bočnej strany je vyvedený kábel s priemerom 1 mm, v oblasti napojenia na snímač je vystužený plastovou vrstvou s priemerom do 4 mm. Aby sa signál AE zo zdroja dostal na čelo snímača, musí byť na kontaktnej ploche vrstva ktorá signál dobre prenáša. Používa sa lepidlo, prípadne mazací tuk. Keďže opakované lepenie snímačov poškodzuje povrch testovaného valca aj kontaktnú plochu snímača, je potrebné snímače na testovaných valcoch udržať inak. Pre merania na pneumatických valcoch sa používajú tri snímače. Jeden snímač na prednú časť tela valca, druhý snímač na zadnú časť, tretí snímač na prostrednú časť tela valca.

Z koncepcných návrhov boli vyrobené a odskúšané varianty 2 a 3. Variant 2 nevytvoril dostatočnú prítlačnú silu na snímač. Aj malá nepresnosť výroby spôsobila, že snímač nebol pritláčaný pod správnym uhlom. Variant nebol ďalej rozvíjaný, pretože variant 3 sa ukázal spoľahlivejší a lepšie nastaviteľný.

Variant 3 umožnil regulovať prítlačnú silu na snímače pomocou predopnutia pružín, a tiež túto silu rovnomerne rozložiť. Pryžové izolácie dokázali pod tlakom prispôbiť tvar tak, aby snímač tlačil kolmo na stenu testovaného valca.

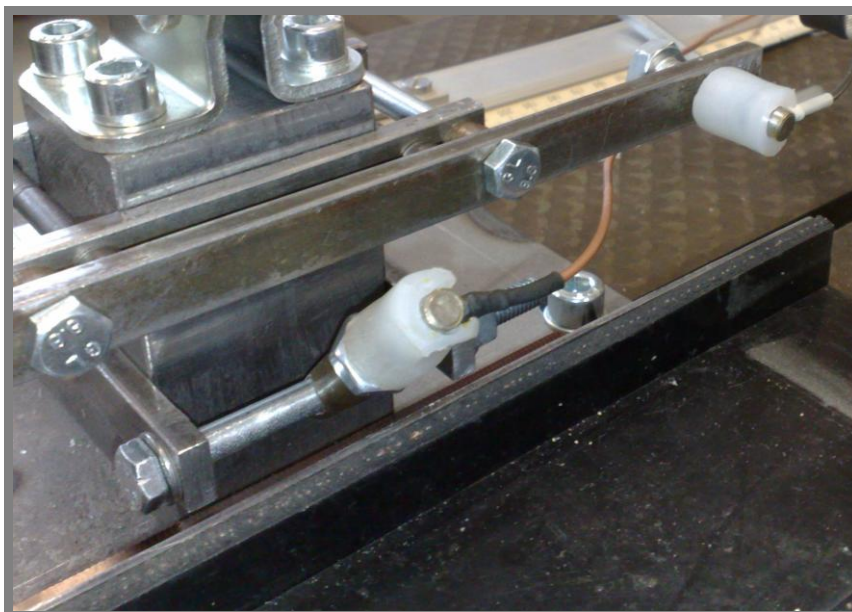
Pri vložení snímačov sa vyskytli problémy s tým, že snímače nedržali pevne na svojom mieste. Nedostatok bol spôsobený nevhodne zvolenou súčasťou, do ktorej sa mala zasunúť zadná časť snímača. Snímač mal na mieste držať tlakom z bočných strán. Preto bolo potrebné vytvoriť vhodnejší spôsob upevnenia snímača k držiaku.

Do plastového hranola bola vytvorená dutina v tvare snímača. Aby bolo možné snímač do dutiny vložiť, bola súčasť rozrezaná takmer po celej dĺžke. Takto upravená súčasť bola schopná pevne zovrieť snímač. Aby nedošlo k roztvoreniu súčasti a vypadnutiu snímača, bola do súčasti vsadená skrutka. Tento spôsob upevnenia snímača fungoval, ale na manipuláciu so skrutkou nebolo dosť priestoru. Skrutka bola nahradená jednoduchou svorkou v tvare U, pretože bola praktickejšia. Tri vyskúšané varianty sú na obr. 5.8.



Obr. 5.8 Varianty upnutia snímačov AE

Pre overenie funkčnosti držiaka bol meraný signál AE na pneumatickom valci typu PS. Test bol opakovaný pre 3 valce. Každý valec bol testovaný najprv s použitím držiaka a potom s použitím lepidla. Postup merania a výsledky sú v odstavci 5.2.1. Výsledky meraní za použitia držiaka snímačov nemali dostatočnú opakovateľnosť, preto bol navrhnutý a vyrobený ďalší upínač snímačov, zobrazený na obr. 5.9.

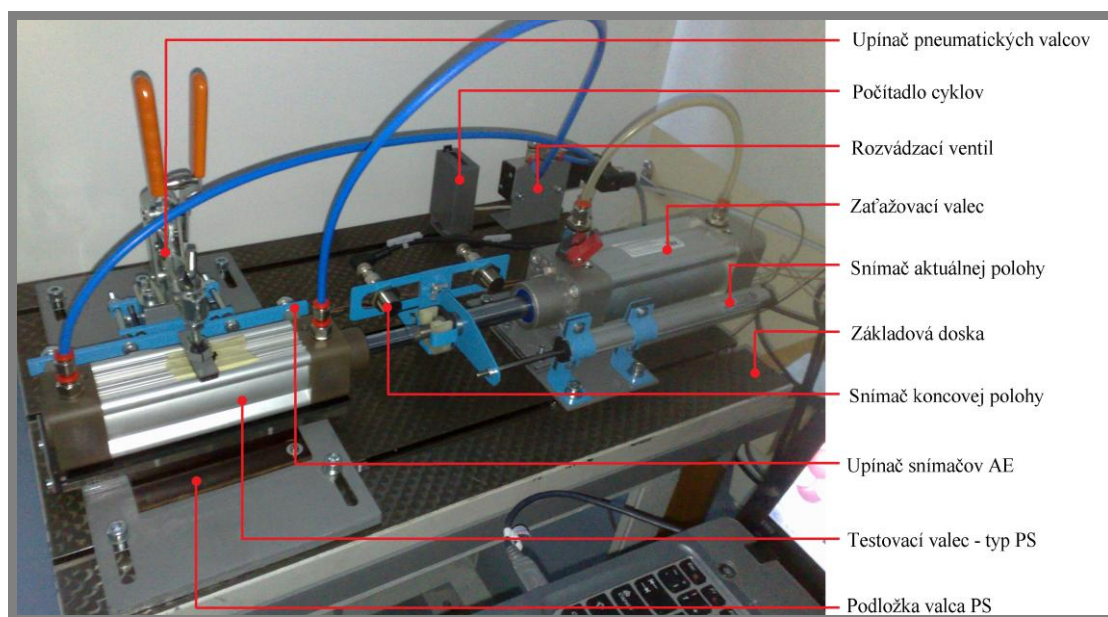


Obr. 5.9 Držiak snímačov – finálna verzia

Vo výslednej variante sú snímače AE vložené do plastových puzdier. Tieto puzdra sú nasadené na vymeniteľný nástavec. Pre každý typ testovaného valca je vyrobený vlastný nástavec, ktorého úlohou je držať puzdro snímača v správnej polohe. Keďže valce typu PS majú plochu určenú pre upnutie prostredného snímača pod iným uhlom ako pre krajné snímače, bol pre tento snímač vyrobený samostatný nástavec. Pritlačenie snímača o testovaný valec zabezpečuje závit. Puzdro snímača má vložené pryžové jadro, ktoré zabezpečí, že ani pri nadmernom pritlačení snímača nedôjde k jeho poškodeniu.

V porovnaní s predchádzajúcimi variantmi mali výsledky meraní s použitím držiaka snímačov veľmi dobrú opakovateľnosť, čo je bližšie popísané v odstavci 5.2.1.

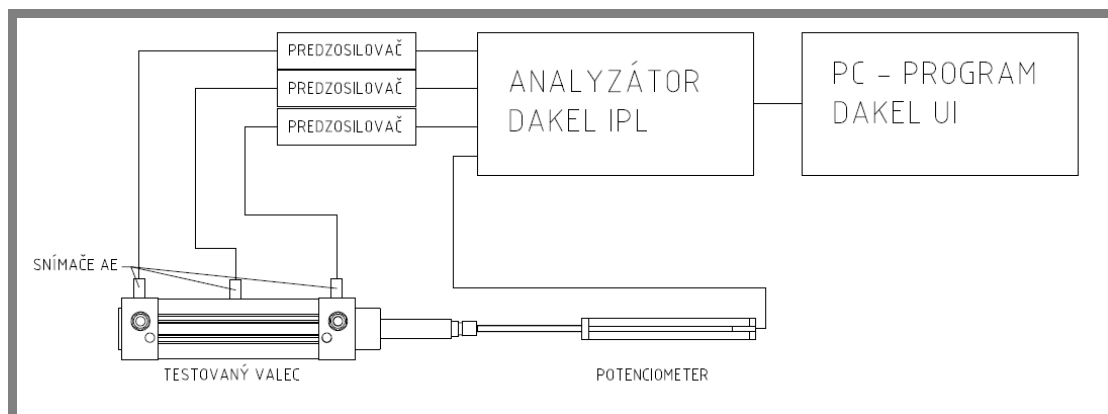
Hotová pracovná časť skúšobnej stanice je na obr. 5.10.



Obr. 5.10 Výsledná pracovná časť skúšobnej stanice

5.1.8 Popis meracieho reťazca

Na obr. 5.11 je schéma použitého meracieho reťazca. Pre všetky merania je použitý rovnaký merací reťazec, pričom sa mení len poloha snímačov AE a potenciometra v závislosti od typu merania.

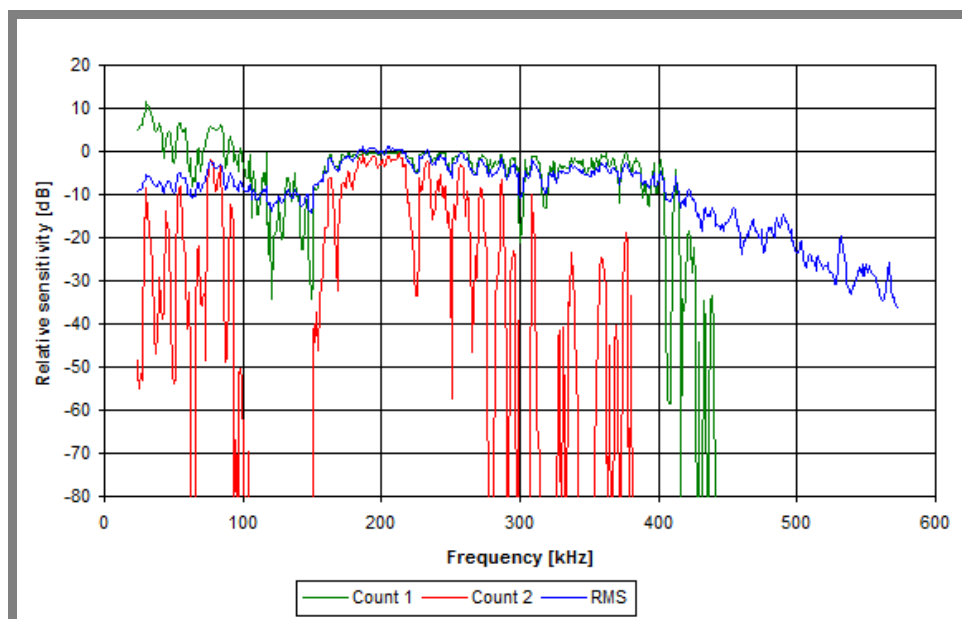


Obr. 5.11 Schéma meracieho reťazca

Snímače AE

Súčasťou meracieho reťazca sú 3 snímače typu MIDI od firmy Dakel. Jedná sa o malý piezoelektrický snímač v tvare valca s priemerom 6 mm s celokovovým puzdrom určený na laboratórne merania akustickej emisie na malých meraných objektoch (16).

Tri snímače akustickej emisie typu MIDI sú napojené na analyzátor tak, že kanál 1 je vyhradený pre snímač AE napojený na prednú časť tela testovaného valca, kanál 2 pre snímač na zadnej časti, kanál 3 na snímač napojený v strede testovaného valca. Na obr. 5.12 je relatívna porovnávacia charakteristika snímača MIDI.



Obr. 5.12 Relatívna porovnávacia charakteristika snímača MIDI (16)

Snímač aktuálnej polohy

Potenciometer slúžiaci ako snímač aktuálnej polohy piestu testovaného valca je pripojený na kanál 5 analyzátora signálu.

Predzosilňovače

Predzosilňovače slúžia na zosilnenie signálu a prispôbeniu vysokej impedancie piezoelektrického snímača nízkej vstupnej impedancii záznamového zariadenia. Je nutné ich použiť pri koaxiálnych vedeniach s dĺžkou nad 2 m, inak dôjde k výraznému zoslabeniu signálu. Boli použité predzosilňovače Dakel ktoré sú napájané priamo z analyzátora, ich pracovná teplota je v rozmedzí -20°C až 85°C, zosilnenie 35 dB. (16)

Analyzátor

Ako analyzátor bolo použité zariadenie Dakel-IPL, ktoré umožňuje 12-bytové kontinuálne vzorkovanie s frekvenciou 2 000 000 vzoriek za sekundu. Umožňuje tiež nepretržite ukladať dáta do počítača. Na monitore počítača je možné pozorovať obálky signálov počas merania, čo umožňuje rýchlo spozorovať prípadné chyby nastavenia merania. (16)

Software

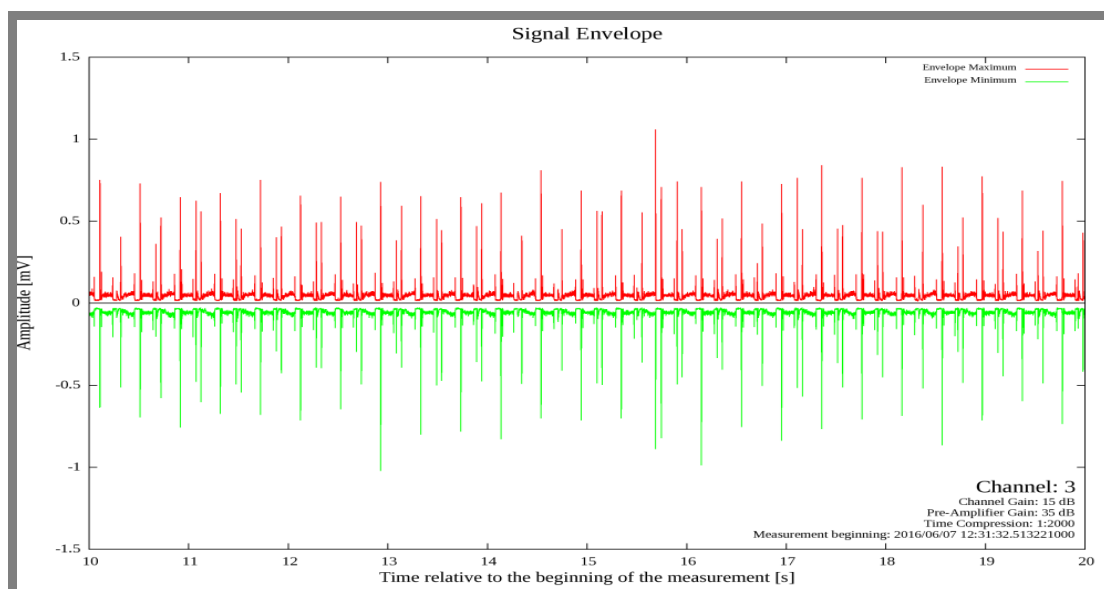
Na nastavenie parametrov meraní a spracovanie nameraných dát je použitý program Dakel-UI. Výhodou programu je, že spracovanie signálu sa vykonáva až po uložení dát. Preto je možné opakovať spracovanie signálu s rôznymi parametrami bez nutnosti opakovať merania.

5.2 Merania AE

Jedným z cieľov diplomovej práce je overenie funkčnosti skúšobnej stanice pomocou viacerých sérií meraní AE na pneumatických valcoch. Detailný rozbor signálu AE nie je cieľom práce. Na diagnostiku poškodení strojných súčastí sa používajú viaceré parametre signálu AE, ale na účely diplomovej práce postačujú obálky a frekvenčné spektrá signálu AE.

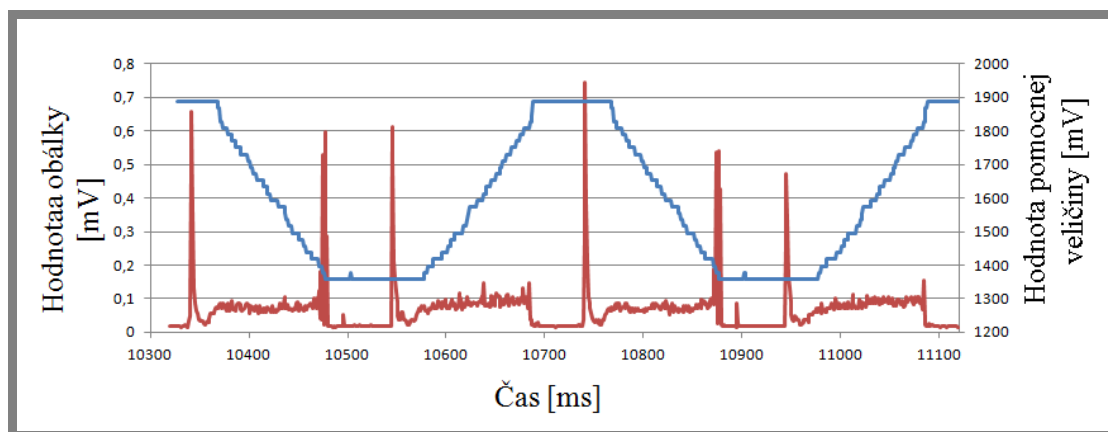
Pre overenie funkcie skúšobnej stanice boli zvolené rady pneumatických valcov typu PB6040C020 a PS5040C0100. Všetky merania prebiehajú s rovnakým nastavením zosilnenia meraného signálu. Pre kanály 1 a 2 je zosilnenie 10 dB, pre kanál 3 je 15 dB. Meranie sa robí počas 1 minúty, z čoho sa vyhodnocuje úsek 10 sekúnd. Pre zvolený úsek signálu sa vykreslí graf obálky signálu AE v čase. Názorný príklad neupravenej obálky signálu AE počas 10 sekúnd (cca 24 cyklov) je na obr. 5.13.

Do grafu je možné vykresliť polohu piestu ako pomocnú veličinu. V prípade že je treba zobraziť len 1 cyklus, je možné podľa pomocnej veličiny zistiť čas začiatku a konca jedného z cyklov na grafe, a následne tento cyklus samostatne zobraziť, prípadne vykresliť spektrogram.



Obr. 5.13 Typický priebeh obálky signálu AE valca typu PB

Program Dakel UI neumožňuje vykreslenie voliteľných častí jednotlivých grafov v jednom obrázku, preto boli pre každé meranie hodnoty obálok signálu AE spolu s hodnotami polohy potenciometra vložené do programu MS-Excel. Pre každé meranie bol vykreslený graf závislosti polohy potenciometra na čase. Z grafu boli zistené presné časy začiatku a konca jednotlivých cyklov testovaného valca. Vďaka tomu bolo možné presne zobraziť len vybrané cykly, a následne im priradiť zodpovedajúce frekvenčné spektrá. Na obr. 5.14 je graf obálky signálu AE (červená krivka) a príslušný graf vysunutia piestu (modrá krivka). Maximálne hodnoty dosahuje modrá krivka v prípade že je piest plne zasunutý, minimálne v prípade plne vysunutého piestu.

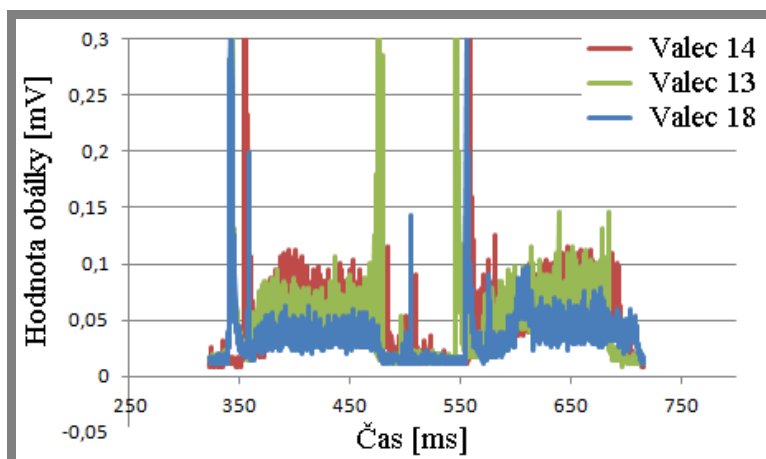


Obr. 5.14 Ukážka vzťahu obálky signálu AE a polohy piestu

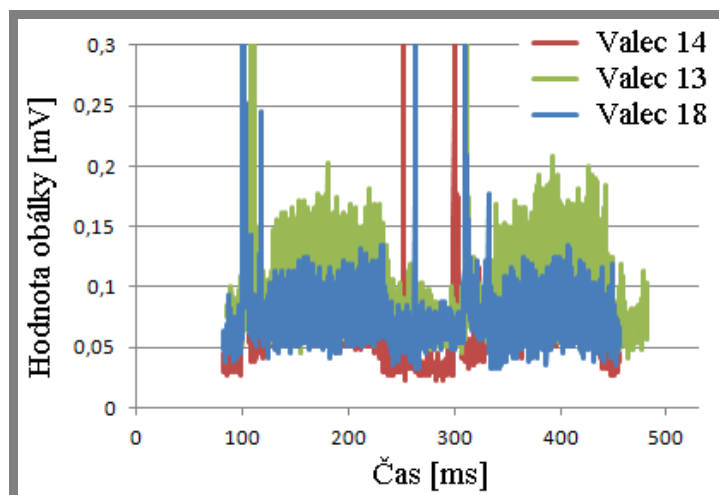
5.2.1 Test držiaka snímačov

Držiak snímačov AE popísaný v odstavcoch 4.6. a prvej časti odstavca 5.1.7 bolo potrebné otestovať. Preto boli vykonané merania AE pre tri nepoškodené valce bez zaťaženia. Každý valec bol testovaný s nalepenými snímačmi a následne bol znovu testovaný so snímačmi upevnenými v držiaku.

Na obr. 5.15 a 5.16 je porovnanie obálok signálov AE z kanálu 3. Jedná sa o testy troch valcov typu PB, pričom v jednom prípade boli snímače prilepené a v druhom bol na upnutie snímačov AE použitý držiak. Z grafov vyplýva, že s použitím držiaka snímačov AE má obálka signálu vyššie hodnoty a signál je výraznejší ako v prípade nalepených snímačov. Bolo tiež zistené, že výsledky meraní za použitia držiaka snímačov AE nemajú dostatočnú opakovateľnosť. Preto bol navrhnutý a vyrobený ďalší držiak snímačov.

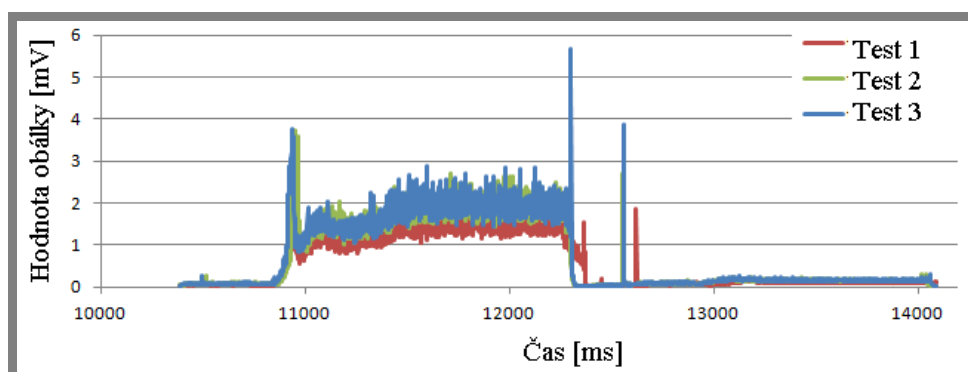


Obr. 5.15 Výsledky testov bez použitia držiaka snímačov AE – snímače boli prilepené

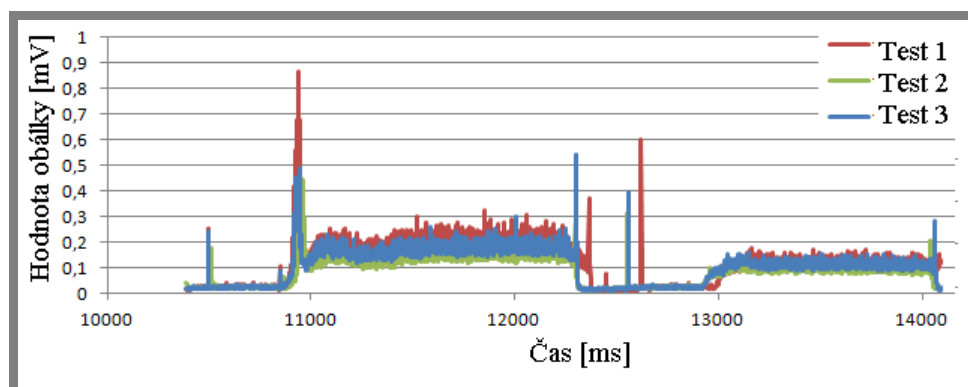


Obr. 5.16 Výsledky testov držiaka snímačov AE

Ďalší držiak snímačov popísaný v druhej časti odstavca 5.1.7 bol testovaný na troch pneumatických valcoch typu PS. Aby bola overená opakovateľnosť výsledkov meraní, boli na každom valci robené 3 merania. Medzi meraniami boli snímače odpojené a znovu pripojené. Na obr. 5.17 a 5.18 sú obálky signálov z troch meraní z valca 2, z kanálov 1 a 3.



Obr. 5.17 Obálky signálov, kanál 1



Obr. 5.18 Obálky signálov, kanál 3

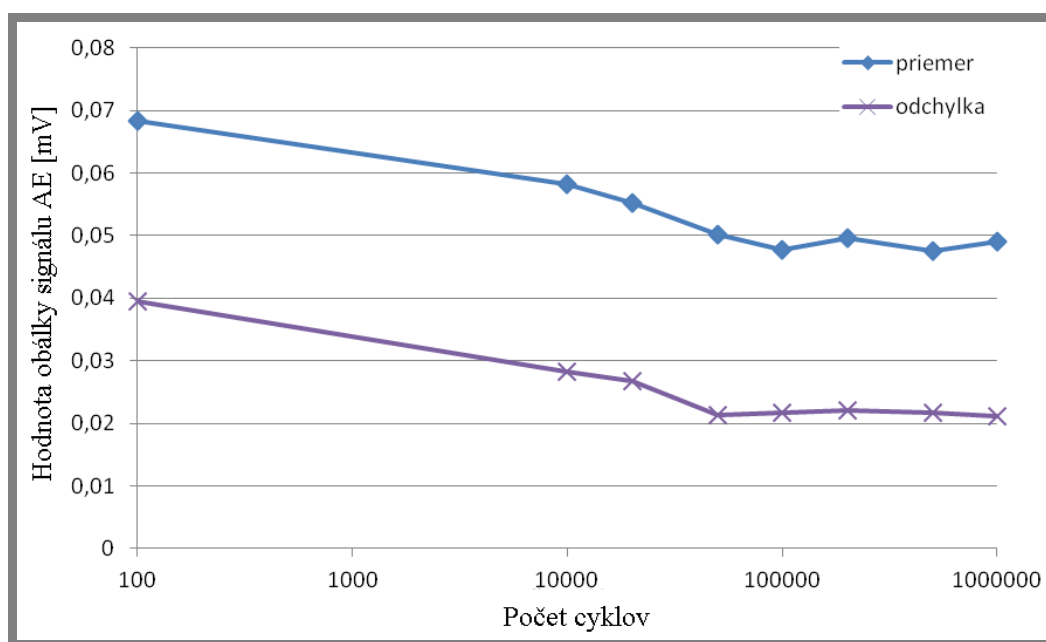
Obálky signálov sa prekrývajú, čo znamená dobrú opakovateľnosť výsledkov meraní. Pre ostatné merania boli výsledky podobné, preto boli vyhodnocované aj frekvenčné spektrá. Porovnanie frekvenčných spektier potvrdilo dobrú

opakovateľnosť výsledkov meraní. Odchýlka od priemernej krivky frekvenčného spektra bola v rámci jedného valca 3% až 9 %. Podobné odchýlky dosahujú aj merania s prilepeným snímačom, čo znamená že držiak snímačov AE je spoľahlivý a nemá výrazný vplyv na kvalitu nameraného signálu.

5.2.2 Dlhodobá skúška

Nepoškodený valec číslo 18 bol vybraný na dlhodobú skúšku, ktorej účelom bolo zistiť zmeny v signály AE vplyvom opotrebenia po milióny cyklov. Valec bol testovaný bez zaťaženia. Na upevnenie snímačov AE bolo použité lepidlo, pričom medzi meraniami neboli snímače odoberané. Meranie signálu AE prebiehalo pre 0, 10 000, 20 000, 50 000, 100 000, 200 000, 500 000 a 1 000 000 cyklov. Z každého merania bol vybraný úsek 10 sekúnd, pre ktorý bol v programe MS-excel vykreslený graf signálu z kanála 5, čo je signál zo snímača aktuálnej polohy piestu. Podľa neho bolo možné zistiť presný čas začiatku a konca ktoréhokoľvek cyklu. Následne boli vykreslené obálky signálu AE od začiatku prvého cyklu po koniec dvadsiateho tretieho cyklu. Pretože úseku 10 sekúnd zodpovedalo cca 24,5 cyklu, každý 10-sekundový úsek obsahoval aspoň celých 23 cyklov.

Pre každé meranie bola spočítaná priemerná hodnota obálky a priemerná absolútna odchýlka od priemeru obálky signálu AE. Tieto priemerné hodnoty boli vynesené do grafu na obr. 5.19.



Obr. 5.19 Graf závislosti priemernej hodnoty obálky a priemernej absolútnej odchýlky od priemernej hodnoty obálky

Z grafu vyplýva, že priemerná hodnota obálky aj priemerná absolútna odchýlka hodnoty obálky od priemeru v závislosti od počtu cyklov klesá. Priemerná hodnota obálky klesla oproti pôvodnej hodnote o cca 29,4%. Hodnoty sa ustálili približne pri 50 000 cykloch, čo značí zabehnutie valca.

5.2.3 Štatistické spracovanie signálov z nepoškodených valcov radu PB

Pred určením rozdielov v signáloch medzi poškodenými a nepoškodenými valcami, je vhodné zistiť ako veľmi sa líšia signály z nepoškodených valcov medzi sebou. Z toho dôvodu boli urobené merania AE na valcoch 13, 14 a 18. Merania boli na každom valci opakované 5 krát. Vyhodnocované boli frekvenčné spektrá. V tab.1 sú hodnoty odchýlok amplitúd frekvenčných spektier jednotlivých meraní od priemerného frekvenčného spektra pre každý valec zvlášť.

Tab. 1 Hodnoty odchýlok frekv. spektier jednotlivých valcov od priemerného frekv. spektra

	k 1	k 2	k 3
Valec 13	3,06 %	3,18 %	3,07 %
Valec 14	3,2 %	3,24 %	3,18 %
Valec 18	3,29 %	3,51 %	3,31 %

Z tab. 1 vyplýva, že v rámci jedného valca je medzi výsledkami rozličných meraní rozdiel cca 3%. Ďalej bolo spočítané, že namerané hodnoty na jednom konkrétnom valci sa od priemernej krivky frekvenčného spektra spočítanej pre všetky valce líšia o cca 11% (kanál 2) až 16% (kanál 3).

5.2.4 Porovnanie poškodených a nepoškodených valcov bez zaťaženia

Na valcoch číslo 1 až 12 radu PB boli výrobcom úmyselne spôsobené poruchy a následne boli valce odoslané na ÚK za účelom testovania. Signál AE z týchto valcov bol porovnaný so signálom z nepoškodených valcov. V tabuľke 2 je zhrnutý popis porúch jednotlivých pneumatických valcov.

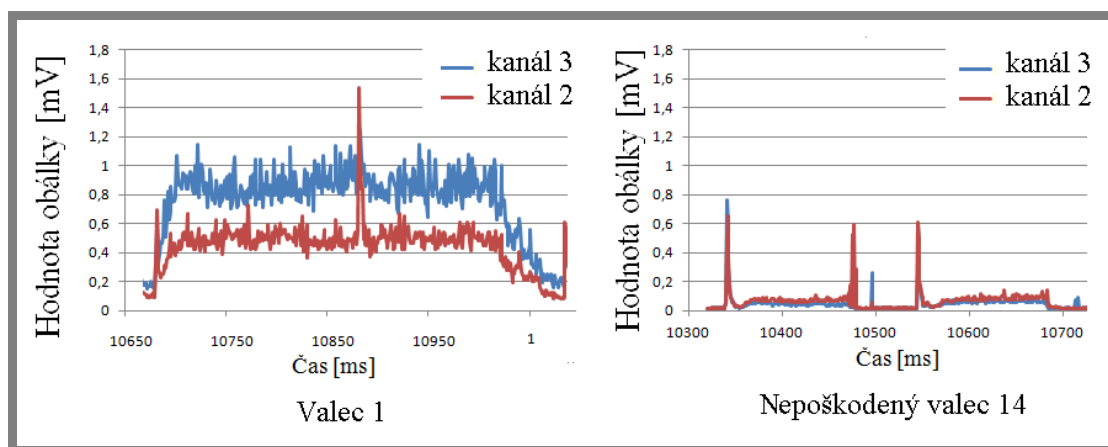
Tab. 2 Zoznam valcov typu PB s umelými poruchami

Valec 1	Poškodený zápich tesnenia piestnice v prednom veku
	Poškodené teleso valca v oblasti napojenia na zadné veko
Valec 2	Prestrihnutá manžeta tesnenia piestnice
	Prestrihnutý O-krúžok medzi telesom valca a zadným vekom
Valec 3	Poškodený vnútorný brit manžety tesnenia piestnice
	Poškodený zápich v zadnom veku
Valec 4	Uvoľnený piest o 1 otáčku
Valec 5	Prestrihnutý O-krúžok na pieste
Valec 6	Dva výrezy na manžete v prednej časti piestu
Valec 7	Dva výrezy na manžete v zadnej časti piestu
Valec 8	Chýbajúci O-krúžok na skrutkovom spoji privodu vzduchu do predného veka
	Prestrihnutý O-krúžok na skrutkovom spoji privodu vzduchu do zadného veka
Valec 9	Prestrihnutý O-krúžok na skrutkovom spoji privodu vzduchu do predného veka
	Chýbajúci O-krúžok na skrutkovom spoji privodu vzduchu do zadného veka
Valec 10	Povolené 4 skrutky zadného veka o 1/2 otáčky
Valec 11	Opotrebovanie - cca 12 500 cyklov
Valec 12	Povolené predné veko, medzera cca 1 mm

Valce 1, 2 a 3 majú poškodenia na rovnakom mieste. Prvá porucha je medzi piestnicou a predným vekom, druhá medzi zadným vekom a telesom valca.

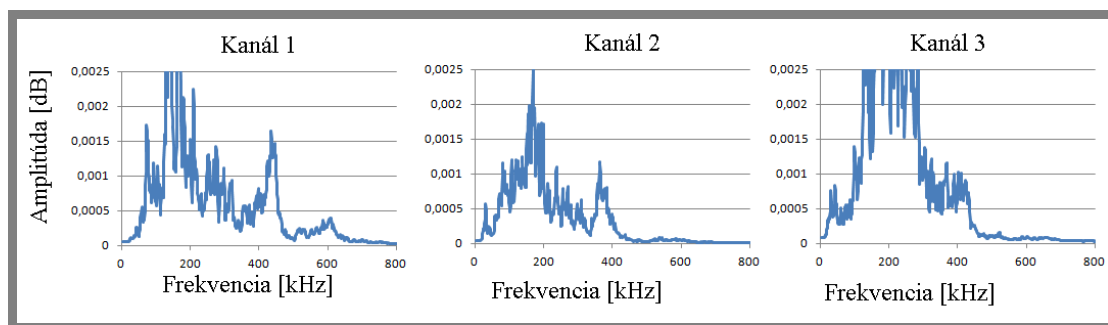
Valec 1

Valec č.1 mal poškodený zápich tesnenia piestnice v prednom veku a poškodené teleso valca v oblasti napojenia na zadné veko. Na obr. 5.20 je porovnanie obálok signálu AE z kanálov 2 (zadné veko) a 3 (stred telesa valca) z valca 1 a nepoškodeného valca 14. Pri porovnaní obálok signálov AE na obr. 5.20 je zrejmé, že poruchy majú výrazný vplyv na signál AE. Počas celého cyklu pohybu piestu je zvýšená amplitúda signálu AE. Pri maximálnom vysunutí piestu je zreteľný pokles amplitúdy. Keďže signál z kanálu 3 má vyššiu amplitúdu ako z kanálu 2, na zmenu priebehu signálu má výraznejší vplyv únik vzduchu medzi piestom a predným vekom. Porucha medzi zadným vekom a telesom valca sa prejavila krátkodobým zvýšením amplitúdy v dobe začiatku vysúvania piestu.



Obr. 5.20 Porovnanie obálok signálu AE z kanálu 2 a 3 pre valce 1 a 14

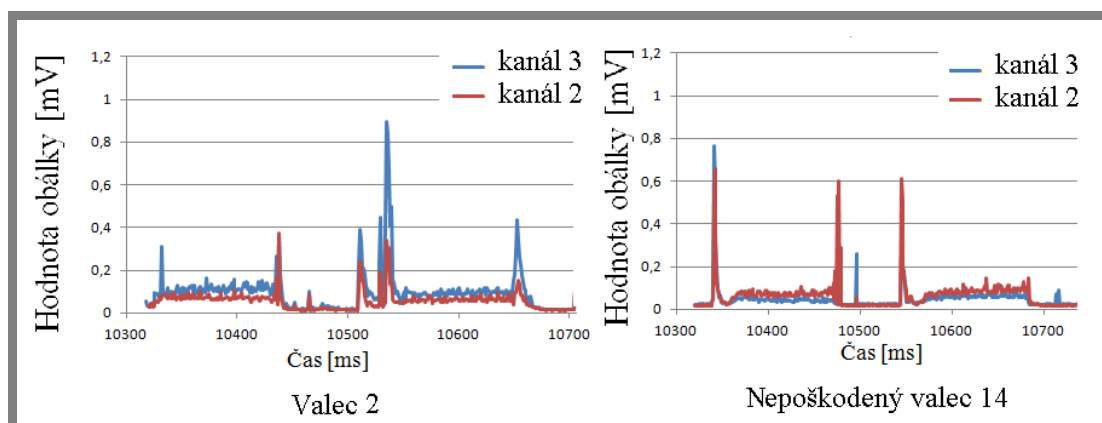
Na obr. 5.21 sú frekvenčné spektrá signálu AE z valca 1 z kanálov 1, 2 a 3. Porucha sa prejavila vo všetkých kanáloch širokým pásmom frekvencií, cca od 50 kHz po cca 450 kHz, pričom najvýraznejšie zastúpené boli frekvenčné pásma cca od 100 do 300 kHz.



Obr. 5.21 Frekvenčné spektrá valca 1, kanály 1, 2 a 3.

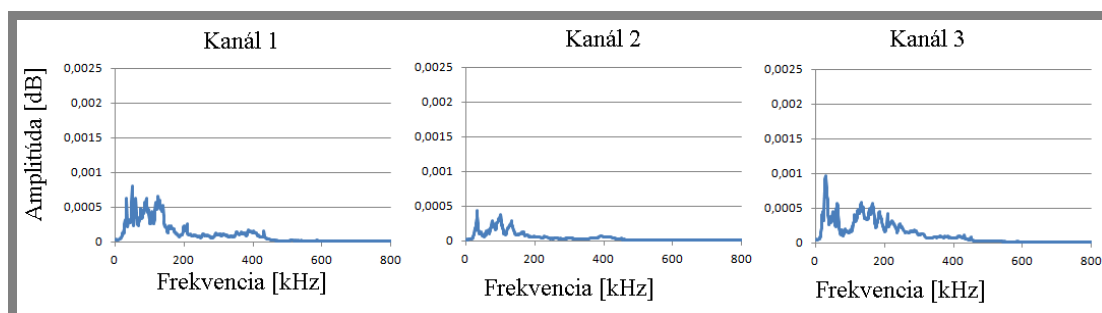
Valec 2

Valec 2 mal prestrihnutú manžetu v prednom veku a prestrihnutý O-kružok medzi telesom valca a zadným vekom. Ako vidno na obr. 5.22, žiadna z týchto porúch sa neprejavila zvýšením amplitúdy obálky signálu tak, ako pri valci 1, čo znamená že nedošlo k výraznému úniku vzduchu zo systému. Najvýraznejšou zmenou charakteru obálky signálu AE u valca 2 oproti nepoškodenému valcu je zdvojenie udalosti AE v dobe začiatku zasúvania piestu. Na signály z kanálu 2 je tento jav menej výrazný, preto je pravdepodobné, že ho spôsobilo prestrihnutie manžety v prednom veku.



Obr. 5.22 Porovnanie obálok signálu AE z kanálu 2 a 3 pre valec 2

Na obr 5.23 sú frekvenčné spektrá signálu AE z valca 2 z kanálov 1, 2 a 3.

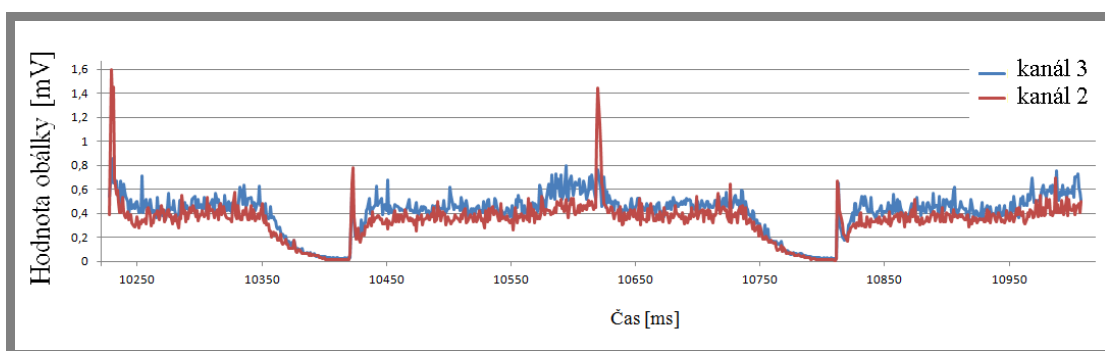


Obr. 5.23 Frekvenčné spektrá valca 2, kanály 1, 2 a 3

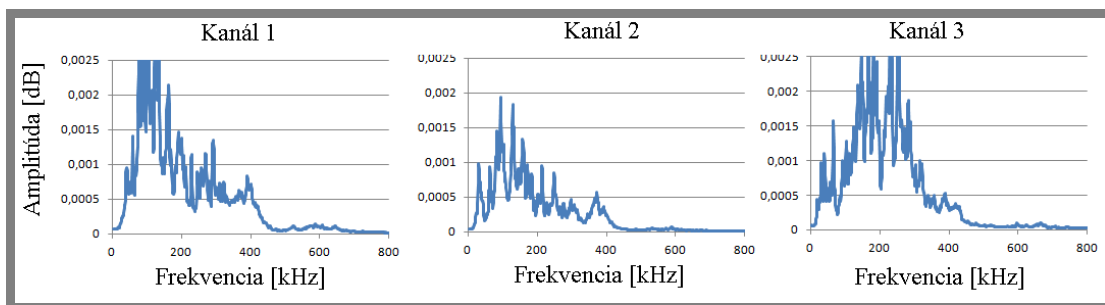
Frekvenčné spektrá signálu zo všetkých snímačov približne zodpovedajú frekvenčným spektrám signálu nepoškodeného valca. Poruchy valca 2 sa neprejavujú zvýraznením žiadneho pozorovaného pásma frekvencií.

Valec 3

Valec 3 mal poškodený vnútorný brit manžety tesnenia piestnice a poškodený zápich v zadnom veku. Obálka signálu AE má veľmi podobný priebeh ako u valca 1. Rozdiel voči signálu AE z valca 1 je hlavne v tom, že amplitúdy signálu dosahujú približne rovnaké hodnoty pre kanál 2 a kanál 3. Aj v tomto prípade sa porucha medzi zadným vekom a telesom valca sa prejavila krátkodobým zvýšením amplitúdy v dobe začiatku vysúvania piestu. Na obr. 5.24 sú obálky signálu AE valca 3 z kanálov 2 a 3 a na obr. 5.25 sú frekvenčné spektrá signálu AE z valca 3 z kanálov 1, 2 a 3.



Obr. 5.24 Porovnanie obálok signálu AE z kanálu 2 a 3 pre valec 3

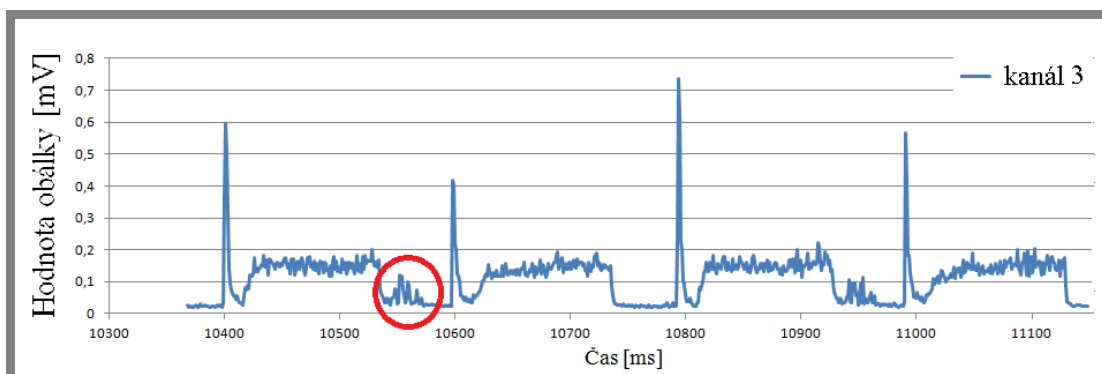


Obr. 5.25 Frekvenčné spektrá valca 3, kanály 1, 2 a 3

Podobne ako u valca 1, aj u valca 3 sa porucha prejavila vo všetkých kanáloch širokým pásom frekvencií. V tomto prípade boli najvýraznejšie zastúpené frekvenčné pásma cca od 100 do 300 kHz.

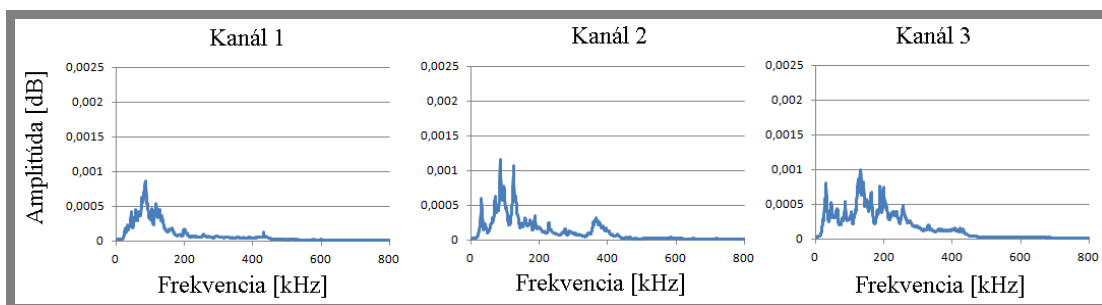
Valec 4

Závit piestu valca 4 bol pootočený o 1 otáčku. Priebeh obálky signálu AE dvoch cyklov pohybu piestu, zobrazený na obr. 5.26, bol zhodný s nepoškodeným valcom, až na rozdiel v poslednej fáze vysúvania piestu, kde došlo k udalosti AE s amplitúdou cca 0,1 mV a dĺžkou trvania cca 35 ms.



Obr. 5.26 Obálka signálu AE valec 4, kanál 3

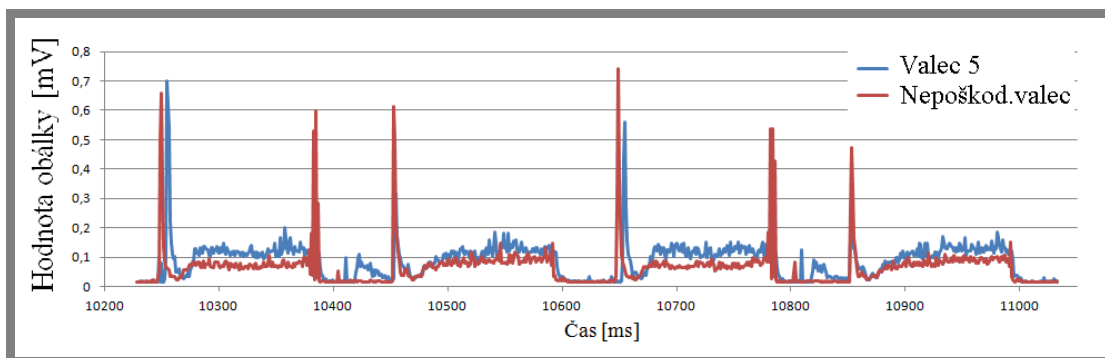
Na obr. 5.27 sú frekvenčné spektrá signálu AE z valca 4 z kanálov 1, 2 a 3. Podobne ako u valca 2, ani u valca 4 sa porucha neprejavila tak výrazným pásmom frekvencií ako poruchy valcov 1 a 3.



Obr. 5.27 Frekvenčné spektrá valca 4, kanály 1, 2 a 3

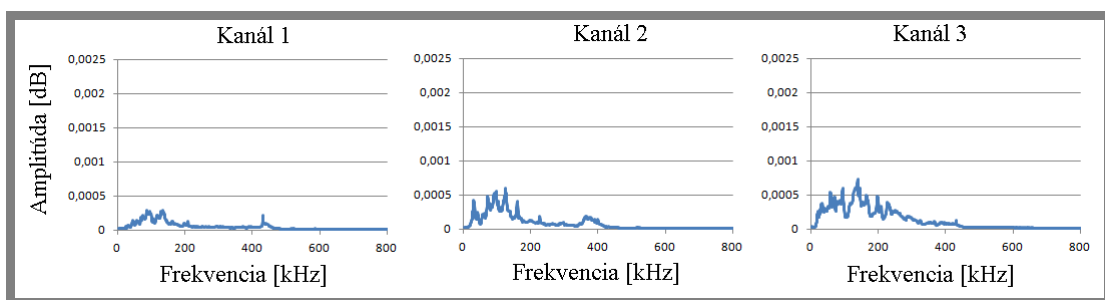
Valec 5

Valec 5 mal prestrihnutý O-krúžok na pieste. Na obr. 5.28 je porovnanie obálok signálu AE z valca 5 a nepoškodeného valca 14.



Obr. 5.28 Obálka signálu AE valec 5 a valec 14, kanál 3

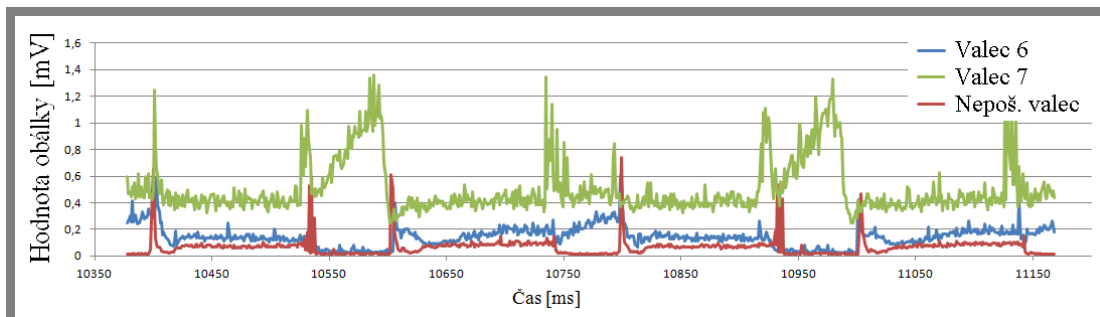
Tak ako valec 4, aj valec 5 mal poruchu v oblasti napojenia piestu na piestnicu, aj keď išlo o rôzny typ porúch, prejav poruchy valca 5 je veľmi podobný prejavu poruchy valca 4. Ani v tomto prípade sa porucha neprejavila na grafoch frekvenčných spektier. Na obr. 5.29 sú frekvenčné spektrá signálu AE z valca 5 z kanálov 1, 2 a 3.



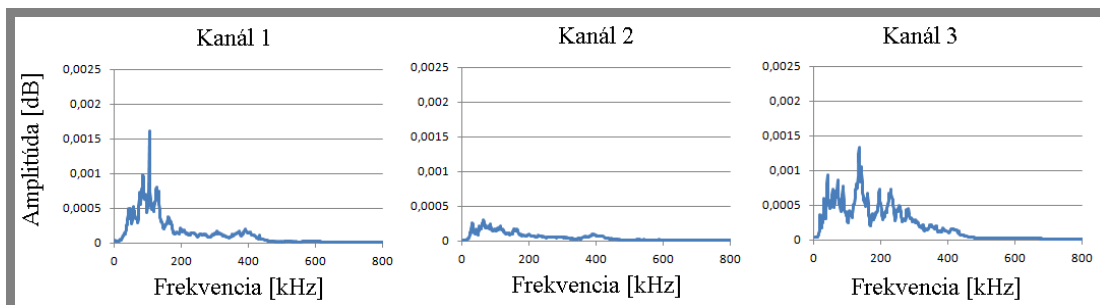
Obr. 5.29 Frekvenčné spektrá valca 5, kanály 1, 2 a 3

Valec 6 a valec 7

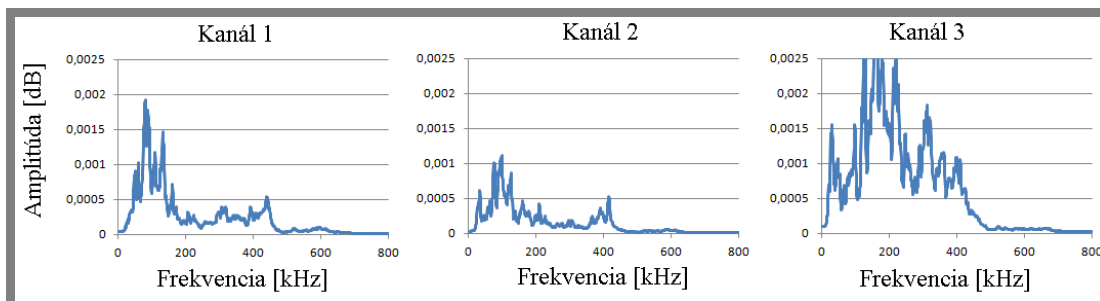
Obidva valce mali dva výrezy na manžete piestu. Valec 6 na manžete v prednej časti piestu, valec 7 na manžete v zadnej časti piestu. Na obr. 5.30 sú obálky signálov AE valcov 6, 7 a 14.



Obr. 5.30 Obálka signálu AE valce 6, 7 a 14, kanál 3



Obr. 5.31 Frekvenčné spektrá valca 6, kanály 1, 2 a 3

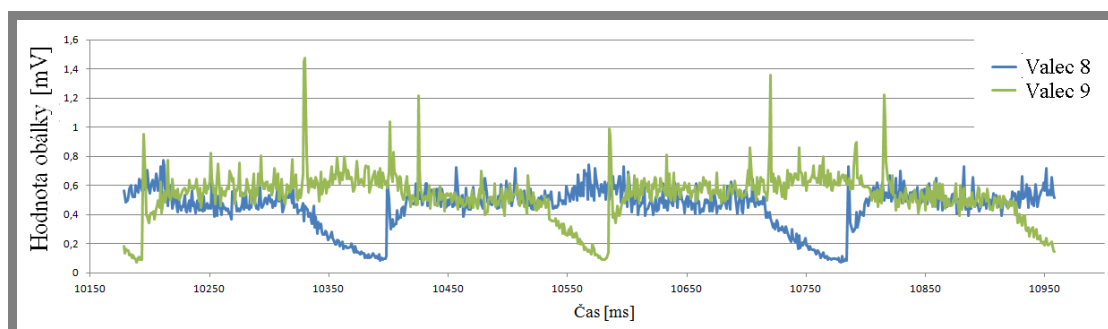


Obr. 5.32 Frekvenčné spektrá valca 7, kanály 1, 2 a 3

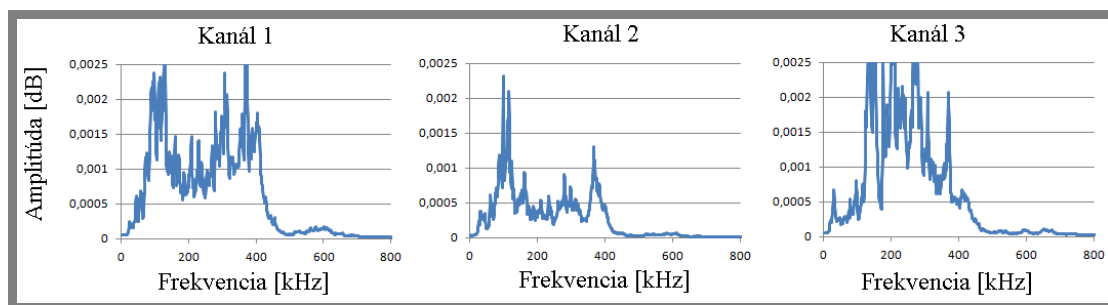
U valca 6 sa porucha prejavila malou zmenou obálky signálu. Porucha valca 7 sa prejavila výraznejším zvýšením hodnôt obálky signálu AE. Keďže porucha spôsobila nezanedbateľný únik vzduchu zo systému, prejavila sa aj vo frekvenčnom spektre na obr. 5.31 a 5.32. Najvýraznejšia zmena bola na signály zo snímača v prostrednej časti testovaného valca – kanál 3.

Valec 8 a valec 9

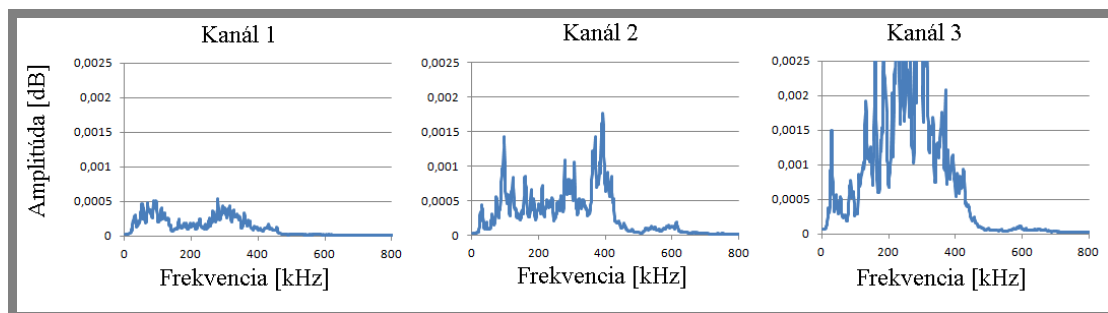
Valce 8 a 9 mali poškodené tesnenia skrutkových spojov. Valec 9 mal prestrihnutý O-krúžok na skrutkovom spoji na prednom veku, chýbajúci O-krúžok na skrutkovom spoji na zadnom veku. Valec 8 mal chýbajúci O-krúžok na skrutkovom spoji na prednom veku a prestrihnutý O-krúžok na skrutkovom spoji na zadnom veku. Na obr. 5.33 sú obálky signálu AE z kanálu 3 pre valce 8 a 9. Oba signály majú rovnaký priebeh podobný priebehom signálu valcov 1 a 3, valec 9 má signál s posunom pol cyklu. Obálka signálu AE valca 8 dosahuje minimum pri plne vysunutom pieste, čo naznačuje únik v prednej časti valca. Obdobne obálka signálu AE valca 9 dosahuje minimum pri plne zasunutom pieste, čo znamená únik v zadnej časti pneumatického valca.



Obr. 5.33 Obálka signálu AE valec 8 a 9, kanál 3



Obr. 5.34 Frekvenčné spektrá valca 8, kanály 1, 2 a 3

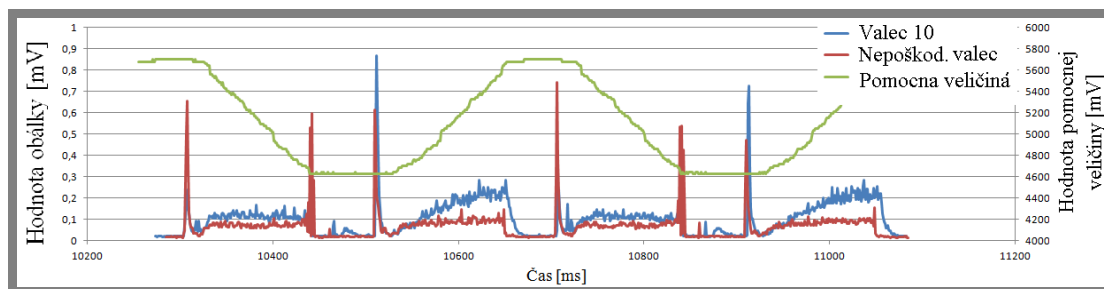


Obr. 5.35 Frekvenčné spektrá valca 9, kanály 1, 2 a 3

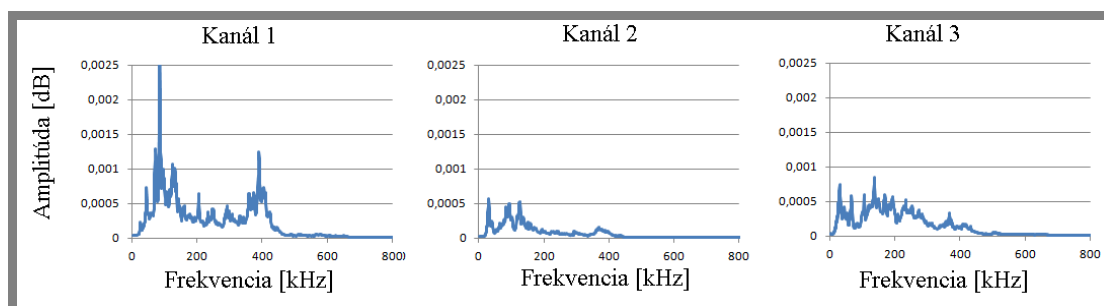
Frekvenčné spektrá signálu AE z valcov 8 a 9 z kanálov 1, 2 a 3 sú na obr. 5.34 a 5.35. Porucha oboch valcov sa prejavila na frekvenčnom spektre kanála 3 výrazným pásmom frekvencií od cca 100 kHz po cca 450 kHz. U valca 8 je zmena frekvenčného spektra výraznejšia pre kanál 1 voči kanálu 2. U valca 9 je to opačne, čo zodpovedá výsledkom vyhodnotenia obálky signálu AE

Valec 10

Valec 10 mal povolené skrutky na zadnom veku o $\frac{1}{4}$ otáčky. Obálka signálu AE z kanálu 3 valca 10 zobrazená na obr. 5.36 sa voči neporušenému valcu líši postupným zvyšovaním amplitúdy vo fáze zasúvania piestu. Špička značiaca začiatok vysúvania piestu má výrazne nižšiu amplitúdu voči nepoškodeným valcom.



Obr. 5.36 Obálka signálu AE valec 10, kanál 3



Obr. 5.37 Frekvenčné spektrá signálu AE z valca 10 z kanálov 1, 2 a 3

Porucha valca 10 sa prejavila malým zvýraznením pásiem frekvencií okolo cca 90 kHz a 400 kHz vo frekvenčnom spektre kanála 1, čo vidno na obr. 5.37. Frekvenčné spektrá kanálov 2 a 3 nevykazujú výraznú zmenu v porovnaní so signálom z nepoškodeného valca.

Valec 11

Valec 11 bol bez mechanického poškodenia, od neporušených valcov sa líšil tým že vykonal cca 12 300 cyklov. Obálka signálu AE nevykazovala výrazné zmeny v porovnaní s obálkou signálu AE z nového valca.

Valec 12

Skrutky ktorými je predné veko pripevnené k telu valca boli uvoľnené, čím vznikla výrazná netesnosť medzi predným vekom a telom valca. Na detekciu poruchy valca 12 nebolo potrebné používať metódu AE, pretože už pri spustení testovania sa výrazný únik vzduchu prejavil silnou zvukovou emisiou. Hodnoty signálu AE boli nad meraný rozsah a signál nebol ďalej vyhodnocovaný.

5.2.5 Vplyv zaťaženia na signál AE

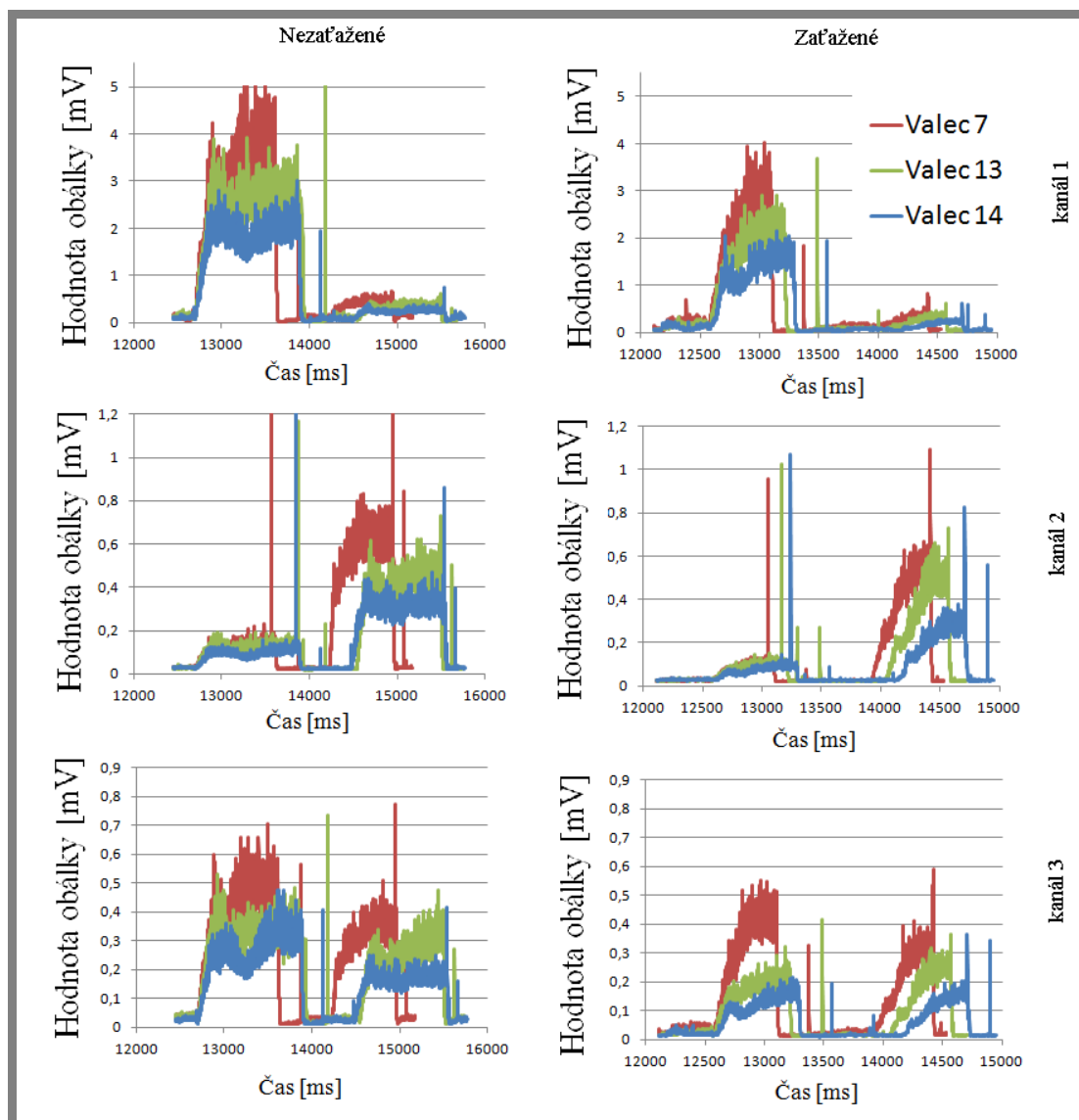
Porovnaním signálov z viacerých poškodených pneumatických valcov potvrdilo predpoklad, že niektoré poruchy sa prejavujú nevýraznou zmenou signálu AE. Séria meraní signálu AE z pneumatických valcov, na piesty ktorých je počas merania vyvíjané zaťaženie má preukázať, či má zaťaženie výrazný vplyv na signál AE, prípadne či je možné zaťažením spôsobiť zvýraznenie poruchy v signály AE. Na test so zaťažením boli vybrané pneumatické valce typu PS5040C0100, na ktorých výrobca vytvoril umelé vady. Pneumatické valce boli zabehnuté na 50 000 cyklov. Na zaťaženie bol použitý pneumatický valec popísaný v odstavci 5.1.4. Keďže stanica neumožňuje presné meranie sily pôsobiacej na piest, zaťaženie bolo nastavené tak, aby sa rýchlosť pohybu piestu valca 14 znížila na 90 % hodnoty dosiahnutej bez zaťaženia, čo zodpovedá otočeniu páky ventilu na zaťažovacom protivalci o 62°. Všetky merania prebiehali pre rovnaké nastavenie zaťaženia.

Tab. 3 Zoznam porúch valcov typu PS

Valec 3	Povolený závit piestu o 1/4 otáčky
Valec 4	Povolený závit piestu o 1/4 otáčky
Valec 8	Nezalepený závit v pieste a výrez na O-krúžku
Valec 9	Nezalepený závit v pieste a výrez na O-krúžku Pozdĺžny vryp na pieste v oblasti umiestnenia O-krúžku
Valec 10	Chýbajúci O-krúžok medzi piestmi
Valec 12	Chýbajúci O-krúžok medzi piestmi

Valec 7, 13 a 14

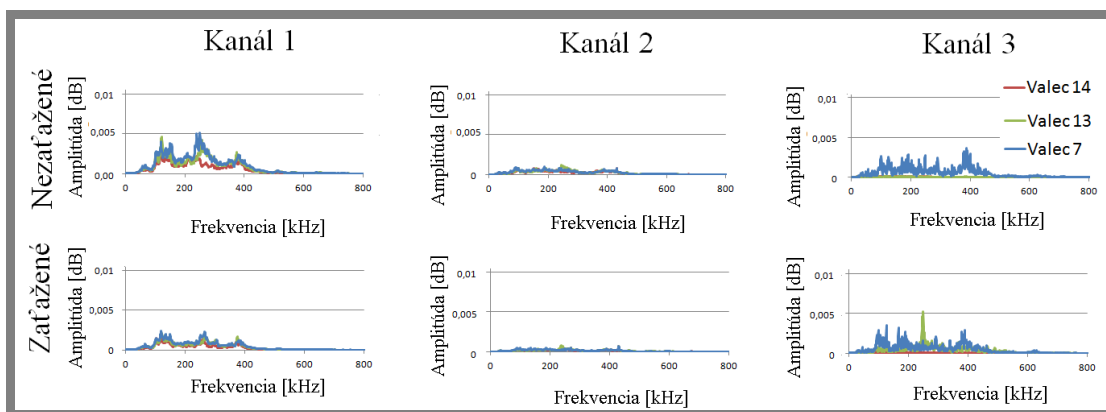
Pre porovnanie boli testované aj nepoškodené valce, konkrétne valec 7, valec 13 a valec 14. Na obr. 5.38 je zobrazené porovnanie obálok signálu AE počas jedného cyklu pohybu piestu bez zaťaženia a so zaťažením.



Obr. 5.38 Porovnanie obálok signálu AE bez zaťaženia a so zaťažením v priebehu 1 cyklu

Obálky signálu AE pneumatických valcov typu PS majú podobné charakteristiky ako obálky signálu z valcov typu PB. Valec 7 mal oproti valcom 13 a 14 kratšiu periódu pohybu piestu. Zaťaženie piestu spôsobilo, že hodnoty obálky signálu AE klesli o cca 20 až 50 % v porovnaní s výsledkami meraní bez zaťaženia. Ďalším výrazným rozdielom bol postupný nábeh na maximálnu hodnotu v oblasti signálu AE zodpovedajúcej zasúvaniu piestu a následný prudký pokles po ukončení zasúvania. U valca bez zaťaženia je nábeh na maximálnu hodnotu rýchlejší, maximálne hodnoty sú udržiavané dlhšie.

Boli tiež porovnávané príslušné frekvenčné spektrá signálu AE, zobrazené na obr. 5.39.



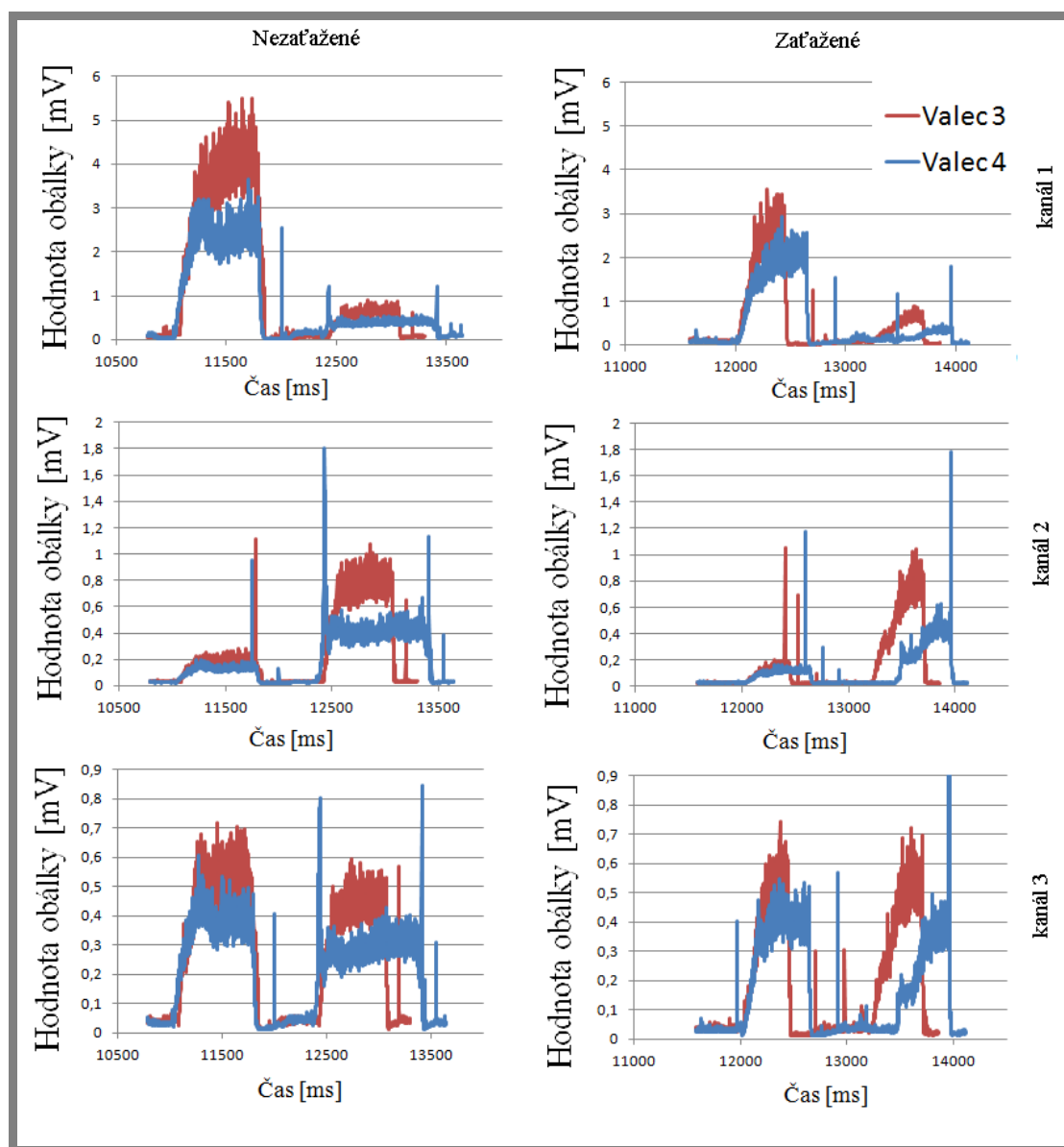
Obr. 5.39 Frekvenčné spektrá signálu AE z nepoškodených pneumatických valcov 7, 13 a 14 bez zaťaženia a so zaťažením

Na rozdiel od valcov typu PB, vo frekvenčných spektrách valcov typu PS boli výrazné frekvencie v pásme od cca 50 kHz do 400 kHz aj pri nepoškodených valcoch, a to najmä v kanáloch 1 a 3.

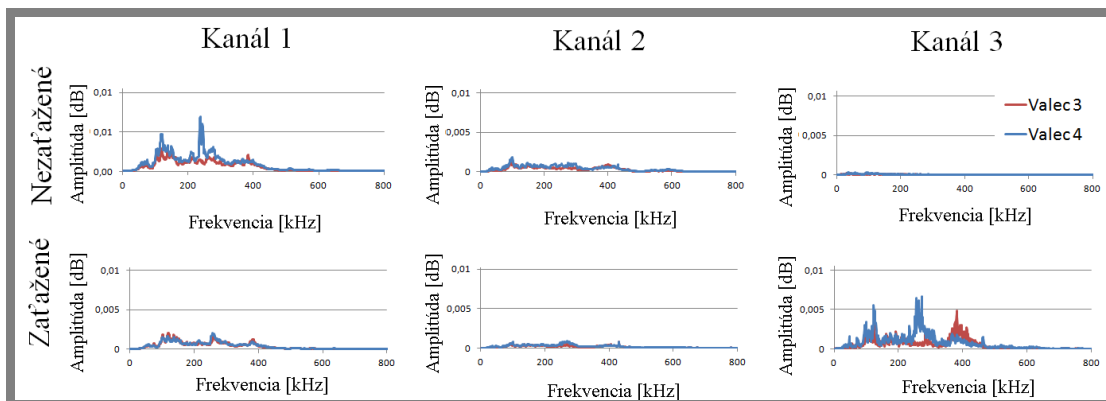
Valec 3 a 4

Na valcoch 3 a 4 bol povolený piest o 1/4 otáčky, čím vznikla vôľa na magnetoch cca 0,3 mm. Lepidlo na závitoch bolo ponechané, a nebol zaznamenaný únik vzduchu. Na obr. 5.40 je obálka signálu AE z valcov 3 a 4 bez zaťaženia a so zaťažením pre kanály 1, 2 a 3, vždy pre jeden cyklus pohybu piestu.

Porovnaním obálok signálu AE z valca 3 a valca 4 s obálkami signálu AE z nepoškodených valcov bolo zistené, že u poškodených valcov sú mierne zvýšené hodnoty v oblasti zodpovedajúcej maximálnemu vysunutiu piestu. Tento prejav poruchy bol najvýraznejší na kanály 3, nevýrazný na kanály 1, na kanály 2 nebol zaznamenaný žiaden prejav poruchy valca. Vplyv zaťaženia bol rovnaký ako pre nepoškodené valce. Nepreukázalo sa že by zaťaženie spôsobilo zvýraznenie poruchy v obálke signálu AE.



Obr. 5.40 Obálky signálu AE valca 3 a 4 bez zaťaženia a so zaťažením v priebehu 1 cyklu



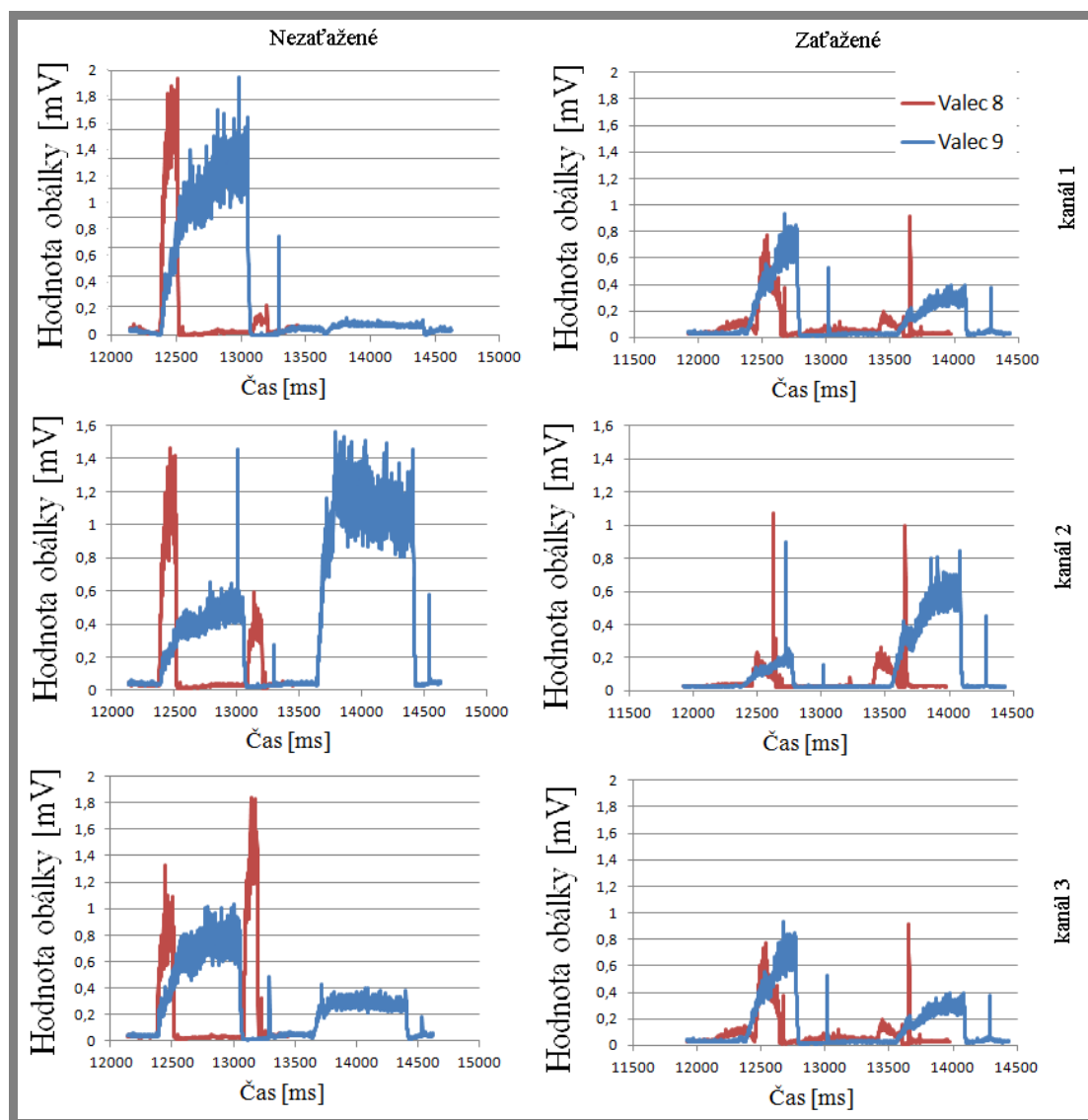
Obr. 5.41 Frekvenčné spektrá valcov 3 a 4

Vo frekvenčnej oblasti došlo po zaťažení piestu k útlmu signálu kanálu 1 a zároveň nárastu intenzity signálu pre kanál 3 u obidvoch valcov, čo je zobrazené na obr. 5.41.

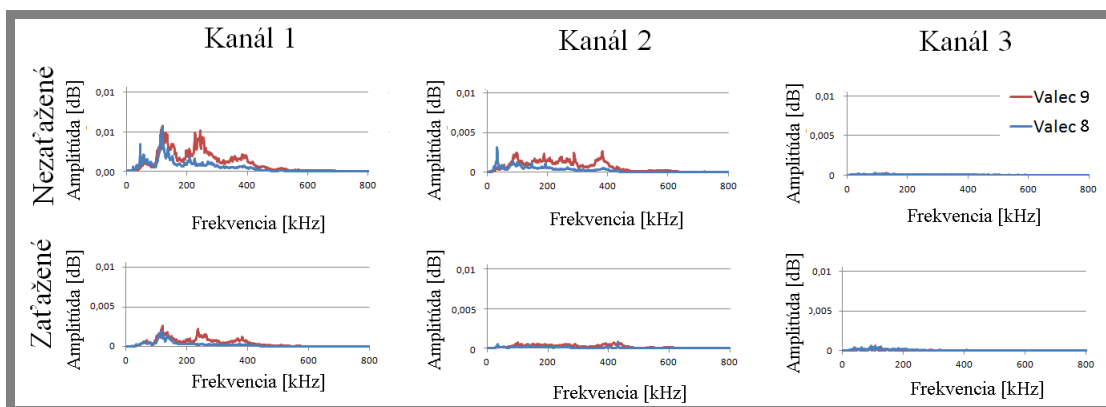
Valec 8 a 9

Na valcoch 8 a 9 bol nezalepený závit v pieste a výrez na O-krúžku. Okrem toho mal valec 9 pozdĺžny vryp na pieste v oblasti umiestnenia O-krúžku. Obálky signálu AE valcov 8 a 9 sú na obr. 5.42 a grafy frekvenčných spektier sú na obr. 5.43.

Tak ako u predchádzajúcich meraní, aj pre valce 8 a 9 platí že zaťaženie spôsobilo zmenu strmosti nárastu a pokles hodnôt obálok signálu AE. Hodnoty obálky signálu AE zodpovedajúce oblasti maximálneho vysunutia piestu sú vyššie pre merania so zaťažením pre oba testované valce, čo je pravdepodobne spôsobené zosilnením úniku vzduchu spôsobeného vadou valca. Aj v tomto prípade boli amplitúdy frekvenčných spektier po zaťažení utlmené a poruchy sa neprejavili.



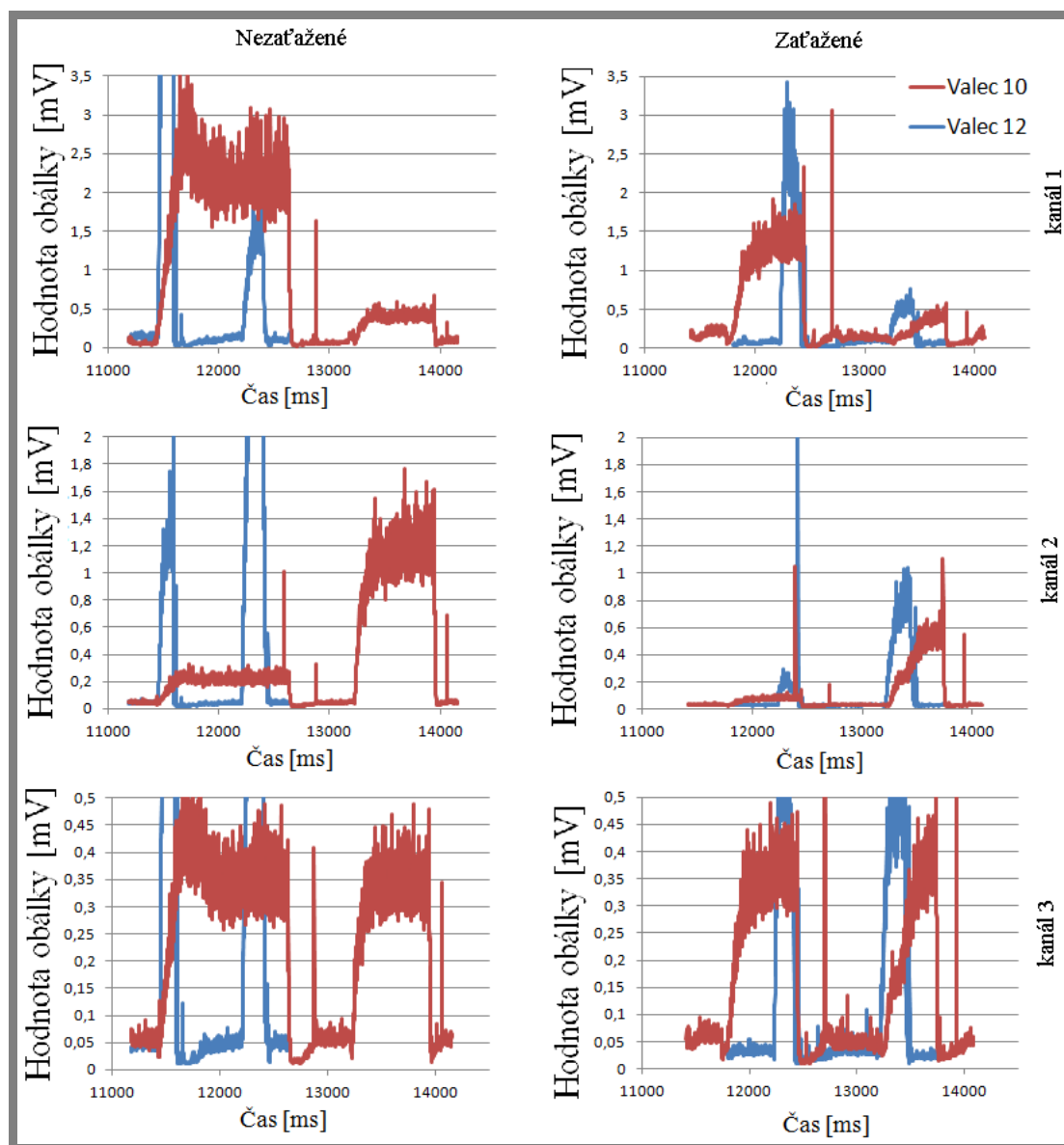
Obr. 5.42 Obálky signálu AE valca 8 a 9 v priebehu 1 cyklu



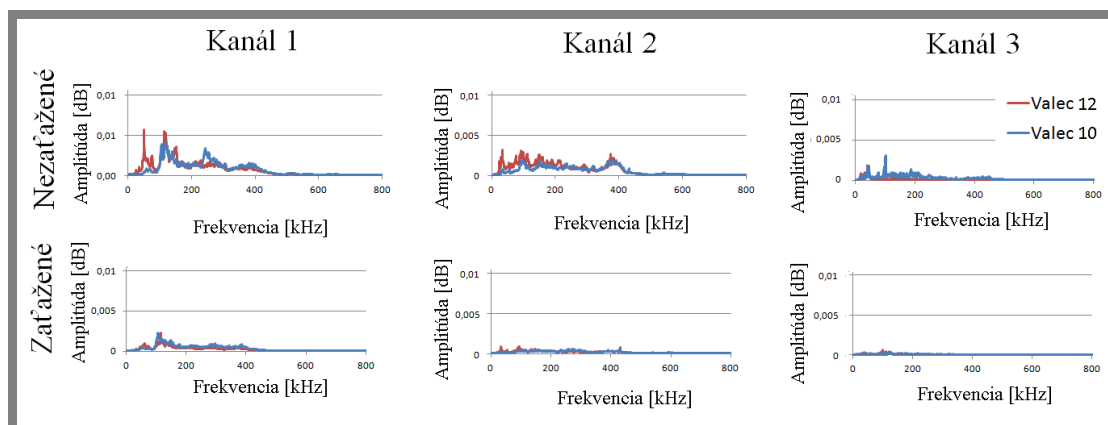
Obr. 5.43 Frekvenčné spektrá signálu AE z valcov 8 a 9

Valec 10 a 12

Valcom 10 a 12 chýbal O-kružok medzi piestmi, preto sa predpokladá únik okolo tesnenia zadného piestu. Z obálok signálu AE valca 10 zobrazených na obr. 5.44 vyplýva že došlo k malému úniku vzduchu. Únik bol rozpoznateľný aj bez zaťaženia, pričom po zaťažení bol výraznejší na kanáloch 1 a 3. Ani v tomto prípade sa poruchy neprejavili vo frekvenčných spektrách signálu AE, na obr. 5.45.



Obr. 5.44 Obálky signálu AE valca 10 a 12 v priebehu 1 cyklu



Obr. 5.45 Frekvenčné spektrá signálu AE z valcov 10 a 12

Zhrnutie výsledkov testov zo zaťažení

Výsledky meraní signálu AE so zaťažením na piest potvrdzujú, že zaťaženie má výrazný vplyv na obálku signálu AE. Tiež sa potvrdilo, že zaťaženie môže zvýrazniť prejavy menej nápadných porúch, ako napríklad úniky v oblasti tesnenia piestu valcov 8, 9, 10 a 12. Prejavy týchto porúch nie sú tak výrazné aby boli pozorovateľné počas pohybu piestu, ale je možné ich zaznamenať pri maximálnom vysunutí piestu. Porovnávanie frekvenčných spektier signálu AE z poškodených a nepoškodených pneumatických valcov typu PS sa vo všetkých prípadoch ukázalo ako nevhodná metóda diagnostiky porúch, rovnako so zaťažením aj bez zaťaženia.

6 DISKUSIA

6

6.1 Zhrnutie dosiahnutých výsledkov

6.1

Hlavným cieľom práce bolo navrhnúť a vyrobiť skúšobnú stanicu umožňujúcu meranie signálu akustických emisií z pneumatických valcov typu PB a PS. Cieľ bol splnený, pričom stanica spĺňa požadované parametre. Zvolený spôsob upínania testovaných valcov má dostatočnú tuhosť, čo je dôležité z hľadiska kvality nameraného signálu AE. Na stanici je tiež možné testovať pneumatické valce so zaťažením na piest, ktoré je riešené zaťažovacím pneumatickým valcom. Ďalej bol vyriešený problém upínania snímačov AE na testovaný valec tak, že snímače a povrchy testovaných valcov už nie sú poškodzované. Spôsob akým je riešené upínanie testovaného valca spolu s upínaním snímačov AE umožňuje výrazne skrátiť čas potrebný na testovanie. Súčasne so signálom AE je tiež možné zaznamenávať aktuálnu polohu piestu, čo je výhodné pri konečnom spracovaní signálu AE. Stanica tiež umožňuje počítanie cyklov testovaného valca, čo je vhodné pri dlhodobých testoch.

V rámci overenia funkčnosti boli realizované merania akustických emisií viacerých radov pneumatických valcov. Boli merané signály AE z nepoškodených valcov radu PB, vrátane dlhodobej skúšky, ktorej cieľom bolo zistiť zmeny v signály AE spôsobené opotrebovaním pneumatického valca. Následne boli testované aj poškodené pneumatické valce radu PB, pričom boli zistené prejavy porúch v signály AE. Boli tiež testované poškodené aj nepoškodené pneumatické valce radu PS, pričom boli merania zopakované aj so zaťažením. Následne bola štatisticky dokázaná dobrá opakovateľnosť výsledkov získaných z meraní, pri ktorých bol použitý držiak snímačov AE. Podrobný rozbor nameraných dát nebol cieľom práce. Parametre signálu AE použité pre overenie funkcie skúšobnej stanice boli obálky a frekvenčné spektrá signálu AE.

6.2 Ekonomický rozbor

6.2

Pri zostavení skúšobnej stanice boli použité aj súčasti z vyradených zariadení, konkrétne základová doska a podstavec skúšobnej stanice, čo výrazne znížilo výrobné náklady. Významnou položkou z hľadiska ceny bol pákový upínač za 2500 Kč, indukčné snímače koncovej polohy spolu cca 900 Kč, potenciometer na snímanie aktuálnej polohy za cca 200 Kč. Keďže bola možnosť použiť základovú dosku z vyradeného zariadenia, nebolo treba kupovať novú dosku. Zaťažovací valec a testované pneumatické valce poskytla firma Poličské strojírny a.s. Bol použitý spojovací materiál za cca 200 Kč. Ostatné súčasti boli vyrobené v dielňach ÚK z dostupných skladových zásob materiálu. Použitý analyzátor signálu AE Dakel IPL, snímače MIDI a ostatné prvky meracieho reťazca boli súčasťou vybavenia laboratória AE na ÚK.

6.3 Možnosti ďalších prác

6.3

6.3.1 Rozšírenie o ďalšie funkcie

6.3.1

Skúšobná stanica bude pravdepodobne rozšírená tak, aby umožňovala zaťažovanie piestu testovaného valca pri vysúvaní inou silou ako pri zasúvaní. V prípade že iný

spôsob zaťažovania piestu bude mať za následok lepšie zvýraznenie poškodení testovaných valcov v signály AE, bude pravdepodobne stanica upravená tak, aby bolo možné presne nastaviť požadovanú silu zaťaženia na piest.

6.3.2 Ďalšie typy pneumatických valcov

Skúšobná stanica momentálne umožňuje testovanie pneumatických valcov radu PB a PS. Do budúca sa počíta aj s testovaním iných pneumatických valcov. Za predpokladu že bude vyrobená vhodná podložka pneumatického valca bude možné testovať valec s výškou do 90 mm, rozsah pohybu piestu so zaťažením 100 mm, bez zaťaženia do 200 mm.

6.3.3 Dlhodobá skúška

Obálka signálu AE ukázala ako vhodnejší parameter na diagnostiku porúch pneumatických valcov, a zároveň bolo zistené že parametre obálky signálu AE sa menia v závislosti od počtu cyklov. Do budúca by preto bolo vhodné štatisticky overiť výsledky získané z dlhodobej skúšky a rozšíriť ich o ďalšie typy pneumatických valcov.

6.3.4 Ďalšie poruchy pneumatických valcov

Poruchy pneumatických valcov popísané v kapitole 5.2 boli vytvorené umelo. Pre ďalší výskum sa počíta aj s testovaním porúch vzniknutých prirodzene, ako napríklad zadieranie piestu pri nedostatočnom mazaní.

7 ZÁVER

Cieľom práce bol návrh a výroba stolnej skúšobnej stanice, ktorá má umožniť výskum signálu akustickej emisie na pneumatických valcoch. Práca vznikla ako súčasť projektu TAČR, ktorého cieľom je vytvorenie metodiky diagnostiky porúch pneumatických valcov pomocou akustickej emisie, a následné zavedenie tejto metodiky do praxe.

Keďže mimo ÚK doteraz neprebíhal výskum diagnostiky porúch pneumatických valcov pomocou metódy AE, rešeršná časť práce sa zaoberá najmä diagnostikou pneumatických valcov pomocou iných metód, a vhodnosťou jednotlivých parametrov signálu AE na diagnostiku rozličných porúch strojných súčastí. Ďalej sú v práci popísané jednotlivé varianty konštrukčného riešenia skúšobnej stanice. Výsledný návrh je popísaný detailnejšie.

Výstupom práce je funkčný prototyp, umožňujúci meranie akustických emisií na pneumatických valcoch typu PB6040C020 a PS5040C0100. Pre prípad že bude potrebné testovať iné typy pneumatických valcov, je nastaviteľná poloha indukčných snímačov aj poloha snímača koncovej polohy. Pre každý nový typ valca je nutné vyrobiť jednoduchú podložku, ktorá zabezpečí správnu výšku osi testovaného valca. Telo aj piest testovaného valca sú od okolia oddelené izolačnou vrstvou, ktorá zabráňuje prenosu rušivého signálu AE z okolia. Stanica umožňuje testovanie so zaťažením na piest testovaného valca, ktoré je vytvárané pneumatickým valcom, ktorého komory sú prepojené, pričom je možné meniť silu zaťaženia. Pre dlhodobé skúšky je súčasťou stanice aj počítadlo cyklov. Pre zrýchlenie a zjednodušenie procesu testovania je súčasťou stanice nastaviteľný držiak snímačov akustickej emisie, ktorý umožňuje skrátiť čas potrebný na testovanie valca na cca 4 min.

Ďalším cieľom práce po stavbe stanice bolo overenie funkčnosti a opakovateľnosti výsledkov meraní. Preto boli robené merania akustickej emisie na viacerých skupinách pneumatických valcov. Po prvých skúšobných meraniach boli testované nepoškodené pneumatické valce radu PB. Vyhodnocované boli obálky a frekvenčné spektrá signálu AE. Jeden valec radu PB bol určený pre dlhodobú skúšku s cieľom popísať zmenu parametrov signálu AE v priebehu milióna cyklov. Bolo zistené, že hodnoty obálky signálu AE sa v čase klesajú, približne pre 50 000 cyklov sa ustália, čo značí zabehnutie pneumatického valca. Ďalej boli robené merania valcov radu PB s umelo vytvorenými poškodeniami. Porovnaním obálok a frekvenčných spektier signálov AE poškodených a nepoškodených pneumatických valcov bol potvrdený predpoklad, že najvýraznejšie sa prejavujú poškodenia spôsobujúce výrazné úniky vzduchu zo systému, ako napríklad poškodený zápich tesnenia predného veka, chýbajúci O-krúžok tesnenia skrutkového spoja a pod. Tieto poruchy sa výrazne prejavili na obálke aj vo frekvenčnom spektre signálu AE. Poruchy ako výrezy na manžete piestu, prestrihnutý O-krúžok piestu a povolený závit piestu sa dostatočne výrazne prejavujú na obálke signálu AE, ale ich prejavy vo frekvenčných spektrách signálu AE nie sú výrazné.

Ďalej bol testovaný rad pneumatických valcov typu PS, ktorý mal nevýrazné poruchy, pričom bolo zisťované, či je možné prejavy týchto porúch zvýrazniť pomocou zaťaženia na piest testovaného valca. Výsledky meraní potvrdili, že zaťaženie má výrazný vplyv na signál AE. V niektorých prípadoch je možné zaťažením nevýrazné poruchy zvýrazniť, a to najmä malé úniky vzduchu. Amplitúda

obálky signálu AE vo fáze maximálneho vysunutia piestu je vhodným porovnávacím parametrom. Porovnávanie frekvenčných spektier sa ukázalo ako nevhodné na diagnostiku daných porúch.

Boli robené testy na valcoch so snímačmi upevnenými pomocou lepidla aj pomocou mechanických upínačov snímačov. Prvé verzie upínačov mali nedostatočnú opakovateľnosť výsledkov, preto boli navrhnuté, vyrobené a testované nové upínače, až pokým neboli schopné dosahovať opakovateľnosť výsledkov obdobnú ako pri použití lepidla, čo bolo overené štatisticky.

Všetky ciele diplomovej práce boli splnené. Skúšobná stanica je funkčnou súčasťou vybavenia laboratória akustickej emisie, čím boli rozšírené možnosti využitia metódy AE. Predpokladá sa, že na základe skúseností a poznatkov z ÚK bude v budúcnosti vo firme Poličské strojírny a.s. skonštruovaná skúšobná stanica umožňujúca výstupnú kontrolu pri výrobe pneumatických valcov.

8 BIBLIOGRAFIA

- (1) Poličské strojírný a.s., *Výběr prvků pro zjištění základních charakteristik akustické emise*, 2014
- (2) Poličské strojírný a.s., *Vady přímočarých pneumatických motorů*, 2014
- (3) NAKUTIS, Ž., KAŠKONAS, P., *An approach to pneumatic cylinder on-line conditions monitoring*, Mechanika 2008, no.4, s 41-47, ISSN 1392 – 1207
- (4) AUGUTIS, V. SAUNORIS, M., *Investigation of high frequency vibrations of pneumatic cylinders.*, Insigth, 2007, v.49, No.8, p.476-480. ISSN 1392-2114
- (5) ROUPEC, J., DVOŘÁČEK, J., NOHÁL, L., *Zpráva ověření třecích sil v pneumotoru*, Brno: Vysoké učení technické. Fakulta strojního inženýrství. Ústav konstruování, 2012
- (6) MAZAL, P., DVORACEK, J., PAZDERA, L., *Application of acoustic emission method in contact damage identification*, International journal of materials & product technology 2011, vol.41, no 1-4, s 140-152 ISSN: 0268-1900
- (7) TANDON, N., CHOUDHURY, A., *A review of vibration and acoustic measurement methods for the detection of defects in rolling element bearings.*, Tribology International 1999, vol. 32, no. 8, s469-480, ISSN: 0301-679X, DOI: 10.1016/S0301-679X(99)00077-8
- (8) Akustická emise obecně, PREDITEST, (online). (cit. 2015-11-03) Dostupné z: https://www.google.sk/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=4&ved=0ahUKEwiYooFDhNLJAhVl_HIKHYE1ALQQFgg1MAM&url=http%3A%2F%2Fwww.preditest.cz%2Ffepe%2Fdownload.php%3Fm%3Dcontent%26i%3D353%26f%3Dakusticka_emise_obecne.pdf&usq=AFQjCNGjZisbVO_yIydjhtTbN-NhmSjoxg&cad=rja
- (9) PRATEEPASEN,A., KAEWWAEWNOI,W., KAEWTRAKULPONG,P., *Smart portable noninvasive instrument for detection of internal air leakage of valve acoustic emission signals.*, Measurement., 2011, č. 44, s. 378-384 ISSN: 0263-2241
- (10) KAEWWAEWNOI, W., PRATEEPASEN, A., KAEWTRAKULPONG, P., *Investigation of the relationship between internal fluid leakage through a valve and the acoustic emission generated from the leakage.*, Measurement., 2010, č. 43, s. 274-282. ISSN: 0263-2241
- (11) HE, Y., ZHANG, X., FRISWELL, M., *Defect diagnosis for rolling element bearings using acoustic emission.*, Journal of vibraton and acoustic-transactions of the ASME, 2009, vol. 131, no.6 ISSN: 1048-9002, DOI: 10.1115/1.4000480

- (12) EFTEKHARNEJAD, B., MBA, D., *Acoustic emission signals associated with damaged helical gears*, Insight, 2008, vol. 50, no.8, s 450-453, ISSN: 1354-2575, DOI: 10.1784/insi.2008.50.8.450
- (13) NASHED S. M., *Acoustic emission monitoring of propulsion systems: A laboratory study on a small gas turbine*, 2011, Dizertačná práca, Heriot-Watt University
- (14) KREIDL, M., ŠMÍD, R., *Technická diagnostika*. 1. vydání, BEN-technická literatura, Praha 2006. 405 s. ISBN 80-7300-158-6
- (15) SCOTT, Ian G., 1991. *Basic acoustic emission vol.6 Nondestructive testing monographs and tracts.*, New York: Gordon and Breach Science Publ. ISBN 2-88124-352-5.
- (16) Katalog firmy DAKEL. (online). (cit. 2015-05-03). Dostupné z: <http://www.dakel.cz>
- (17) MILLER, R. K., HILL, E. K., *Acoustic emission testing*, 3rd ed. Columbus: American Society for Nondestructive Testing, 2005, 446 s. ISBN 15-711-7106-1.
- (18) Poličské strojírny a.s., *Pneumatické válce*, 2007, katalog
- (19) NDT Resource center (online). (cit. 8.5.2017). Dostupné z: https://www.nde-ed.org/EducationResources/CommunityCollege/Other%20Methods/AE/AE_Equipment.php

9 ZOZNAM POUŽITÝCH ZNAČIEK

9

AE - akustická emisia

RMS - root mean square, kvadratický priemer

PSD - power spectrum density, spektrálna hustota výkonu

10 ZOZNAM OBRÁZKOV

Obr. 2.1 Súčasti pneumatického valca (2)	3
Obr. 2.2 Zostava použitá pre testovanie (3)	4
Obr. 2.3 Schéma testovania pneumatických valcov (4)	5
Obr. 2.4 Porovnanie signálu vibrácií z nepoškodeného (vľavo) a poškodeného (vpravo) valca. (4)	5
Obr. 2.5 Hodnota RMS signálu vibrácií pri rôznej polohe piestu. (4)	6
Obr. 2.6 Porovnanie spektrálnej hustoty výkonu signálu vibrácií nepoškodeného (vľavo) a poškodeného (vpravo) pneumatického valca (4)	6
Obr. 2.7 Porovnanie počtu prekmitov a RMS signálu AE variant 1 a 2 (nedostatok maziva) (5)	7
Obr. 2.8 Parametre AE (8)	8
Obr. 2.9 Porovnanie vypočítaných a nameraných hodnôt úniku (8)	9
Obr. 2.10 Graf vplyvu miery úniku a frekvencie na parameter PSD signálu AE (10)	10
Obr. 2.11 Porovnanie hodnoty RMS signálu AE pre rôzne podmienky (11)	10
Obr. 2.12 Porovnanie amplitúdy signálu AE pre rôzne podmienky (11)	11
Obr. 2.13 Porovnanie počtu špičiek signálu AE pre rôzne podmienky (11)	11
Obr. 2.14 Záznam signálu AE (12)	12
Obr. 2.15 Frekvenčné spektrum signálu AE z prevodovky s poškodením (11)	12
Obr. 2.16 Schéma konštrukcie piezoelektrického snímača AE (19)	14
Obr. 4.1 Variant 1 upínača valcov	19
Obr. 4.2 Variant 2 upínača valcov	19
Obr. 4.3 Varianty držiaka snímačov koncovej polohy piestu	20
Obr. 4.4 Varianty spojenia piestov 2 a 3	22
Obr. 4.5 Varianty upínača snímačov AE	23
Obr. 5.1 Skúšobná stanica	25
Obr. 5.2 Pneumatické valce predbežne zvolené na testovanie	26
Obr. 5.3 Spôsob upnutia testovaných pneumatických valcov	27
Obr. 5.4 Kliešťový upínač	28
Obr. 5.5 Nasúvací spoj	28
Obr. 5.6 Držiak snímačov koncovej polohy	29
Obr. 5.7 Rozvádzač ventil a počítadlo cyklov	30
Obr. 5.9 Držiak snímačov – finálna verzia	31
Obr. 5.10 Výsledná pracovná časť skúšobnej stanice	32
Obr. 5.11 Schéma meracieho reťazca	32
Obr. 5.12 Relatívna porovnávacia charakteristika snímača MIDI (16)	33
Obr. 5.13 Typický priebeh obálky signálu AE valca typu PB	35
Obr. 5.14 Ukážka vzťahu obálky signálu AE a polohy piestu	36
Obr. 5.15 Výsledky testov bez použitia držiaka snímačov AE – snímače boli prilepené	36
Obr. 5.16 Výsledky testov držiaka snímačov AE	37
Obr. 5.17 Obálky signálov, kanál 1	37
Obr. 5.18 Obálky signálov, kanál 3	37
Obr. 5.19 Graf závislosti priemernej hodnoty obálky a priemernej absolútnej odchýlky od priemernej hodnoty obálky	38

Obr. 5.20	Porovnanie obálok signálu AE z kanálu 2 a 3 pre valce 1 a 14	40
Obr. 5.21	Frekvenčné spektrá valca 1, kanály 1, 2 a 3.	40
Obr. 5.22	Porovnanie obálok signálu AE z kanálu 2 a 3 pre valec 2	41
Obr. 5.23	Frekvenčné spektrá valca 2, kanály 1, 2 a 3	41
Obr. 5.24	Porovnanie obálok signálu AE z kanálu 2 a 3 pre valec 3	42
Obr. 5.25	Frekvenčné spektrá valca 3, kanály 1, 2 a 3	42
Obr. 5.26	Obálka signálu AE valec 4, kanál 3	43
Obr. 5.27	Frekvenčné spektrá valca 4, kanály 1, 2 a 3	43
Obr. 5.28	Obálka signálu AE valec 5 a valec 14, kanál 3	44
Obr. 5.29	Frekvenčné spektrá valca 5, kanály 1, 2 a 3	44
Obr. 5.30	Obálka signálu AE valec 6,7 a 14, kanál 3	45
Obr. 5.31	Frekvenčné spektrá valca 6, kanály 1, 2 a 3	45
Obr. 5.32	Frekvenčné spektrá valca 7, kanály 1, 2 a 3	45
Obr. 5.33	Obálka signálu AE valec 8 a 9, kanál 3	46
Obr. 5.34	Frekvenčné spektrá valca 8, kanály 1, 2 a 3	46
Obr. 5.35	Frekvenčné spektrá valca 9, kanály 1, 2 a 3	46
Obr. 5.36	Obálka signálu AE valec 10, kanál 3	47
Obr. 5.37	Frekvenčné spektrá signálu AE z valca 10 z kanálov 1, 2 a 3	47
Obr. 5.38	Porovnanie obálok signálu AE bez zaťaženia a so zaťažením v priebehu 1 cyklu	49
Obr. 5.39	Frekvenčné spektrá signálu AE z nepoškodených pneumatických valcov 7, 13 a 14 bez zaťaženia a so zaťažením	50
Obr. 5.40	Obálky signálu AE valca 3 a 4 bez zaťaženia a so zaťažením v priebehu 1 cyklu	51
Obr. 5.41	Frekvenčné spektrá valcov 3 a 4	52
Obr. 5.42	Obálky signálu AE valca 8 a 9 v priebehu 1 cyklu	53
Obr. 5.43	Frekvenčné spektrá signálu AE z valcov 8 a 9	54
Obr. 5.44	Obálky signálu AE valca 10 a 12 v priebehu 1 cyklu	55
Obr. 5.45	Frekvenčné spektrá signálu AE z valcov 10 a 12	56

11 ZOZNAM TABULIEK

Tab. 1	Hodnoty odchýlok frekv. spektier jednotlivých valcov od priemerného frekv. spektra	39
Tab. 2	Zoznam porúch valcov typu PB	39
Tab. 3	Zoznam porúch valcov typu PS	48

12 ZOZNAM PRÍLOH

12

Návrh laboratórneho protokolu:

Protokol o skúške pneumatického valca

Výkresy:

Skúšobná stanica	A1
Zostava upínača	A2
Zat'azovací valec	A2
Držiak potenciometra	A3
Držiak snímačov polohy	A3
Rám podstavca	A3
Podložka valca PB	A3
Podložka valca PS	A3
Spojka piestov	A3

Kusovníky:

Držiak snímačov polohy
Podložka PS
Rám podstavca
Zostava upínača